Digitized by Google

UNIVERSI
900000
Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

mede 1354e

UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DIE

PHYSIOLOGIE DES ELECTROTONUS.

VON

Dr. EDUARD PFLÜGER,
PRIVAT-DOCENTEN AN DER UNIVERSITÄT ZU BERLIN.

MIT 5 KUPFERTAFELN.

Berlin, 1859.
Verlag von August Hirschwald.
69 Unter den Linden, Ecke der Schadow-Strasse.

Digitized by Google

Digitized by Google

Vorrede.

Hiermit übergebe ich meine Untersuchungen „über den Einfluss des constanten electrischen Stromes auf die Erregbarkeit der Nerven“ in ausführlicher Darstellung der Oeffentlichkeit. Dieselben behandeln zunächst und hauptsächlich diese Veränderungen sowohl während der Dauer des Stromes, als nachdem er unterbrochen worden ist.

Bei der Darlegung und Beweisführung der aufgestellten Gesetze bin ich bemüht gewesen, den angewandten Methoden alle Strenge zu geben, die meinen Kräften erreichbar war und von jeder derartigen Arbeit bei dem jetzigen Stande der Wissenschaft mit Nothwendigkeit gefordert werden muss. Gleichwohl

Digitized by Google

ist dieses Gebiet in ausgedehnterem Maassstabe seit dem ehrwürdigen Ritter noch von keinem Forscher betreten worden, weshalb hier erst die Methoden zu schaffen waren, mit Hülfe deren man mit Vortheil sich diesen ebenso zarten als verwickelten Fragen nahen darf. Die grösste Schwierigkeit bestand für mich hauptsächlich in der Beherrschung der Stärke der Reizung, weil diese bei diesen Versuchen fast nie das Maximum übersteigen durfte. Vor der Lösung dieser Vorfrage konnte natürlich an keine ernstliche Untersuchung gedacht werden, welche sich vorsetzte, die Abhängigkeit der Reizung von verschiedenen Bedingungen messend zu erforschen. Nach längeren Bemühungen gelang es mir, dieser Schwierigkeit insoweit Herr zu werden, dass ich mit Erfolg die bei diesem Gebiete auftretenden Probleme in Angriff zu nehmen vermochte.

Es ergaben sich dann nach einer passenden Verwendung der Hülfsmittel, welche die Wissenschaft gegenwärtig bietet, minder schwierig die einzelnen Methoden in den verschiedenen speciellen Fällen.

Mein Hauptaugenmerk richtete ich bei dieser Untersuchung nun zunächst und besonders auf die Urvariabeln des Electrotonus, um zu ermitteln, ob der

Digitized by Google

Zuwachs der Erregbarkeit in ähnlicher Weise von diesen abhängen möchte wie derjenige, welcher von den „dipolaren“ Kräften herrührt. In der That decken sich beide absolut genommenen Functionen fast vollständig, wodurch also der Beweis geliefert ist, dass beide Erscheinungen derselben inneren Umwandlung des Nerven ihren Ursprung verdanken müssen. Ich vermochte aber diese Congruenz dadurch noch mehr und zwar äusserst auffallend darzuthun, dass ich aus den bereits bekannten Thatsachen den Nachweis lieferte, wie im electrotonischen Zustande auch in rein electrischer Beziehung die Zustände vor und hinter dem Strome durchaus verschieden sind.

Betrachtet man demgemäss die Empfänglichkeit des Nerven für die Reizung und den Electrotonus in ihrer Abhängigkeit von den verschiedenen Urvariabeln, so hat man es jetzt mit zwei absolut congruenten Functionen zu thun, wobei mithin auch der Zuwachs für beide stets einerlei Vorzeichen hat.

Bei einem täglichen unausgesetzten langen Studium der Einwirkung des electrischen Stromes auf die Nerven, dem ich meine ganze Zeit widmen konnte, mussten sich mir nun natürlich fast alle Thatsachen des Gebiets zeigen, gleichsam zufällig, ohne dass ich

Digitized by Google

sie suchte. So hatte ich also fortwährend das Zukkungsgesetz vor Augen, öfter und mehr, als es zur Constatirung der dabei auftretenden Gesetze irgend nothwendig gewesen wäre. Ich kann deshalb nicht zweifeln, dass das von mir aufgestellte das wirklich ächte Gesetz der Zuckung für den lebendigen Nerven ist. So mussten sich täglich meine Kenntnisse dieses Gebietes durch die unmittelbare Erfahrung ausbreiten, indem ich theils oft Behauptetes und Bezweifeltes zu constatiren oder dem Alten Neues hinzuzufügen vermochte. Ich darf deshalb behaupten, das ganze Gebiet einer gründlichen Revision unterworfen zu haben, obschon ich natürlich niemals meinen Hauptzweck, die Erforschung der Physiologie des Electrotonus aus dem Auge verlor.

Die Gesetze, zu welchen nun die Untersuchung führte, mussten neue Bedingungen den bis jetzt bekannten hinzufügen, denen eine Theorie der inneren Mechanik des Nerven zu genügen hat. Besonders wichtig erschienen mir in dieser Beziehung diejenigen Thatsachen, welche mit Hülfe des Muskels die asymptotische Abnahme des Electrotonus oberhalb des constanten Stromes nachzuweisen gestatteten. Demgemäss habe ich am Ende des Werkes den Versuch gewagt,

Digitized by Google

eine Theorie der inneren Mechanik des Nerven zu entwerfen, welche indess auf Nichts weiter Anspruch macht, als ein ganz allgemeines Schema zu sein, nach welchem die inneren Kräfte verwandt worden sind. Es ist hiermit wenigstens ein allgemeiner Gesichtspunkt gewonnen, von welchem aus man bei dem gegenwärtigen Stande der Wissenschaft sich die Thatsachen der Nervenphysiologie vorstellen kann.

Die theoretische Darstellung der innern Mechanik des Nerven habe ich im Sinne jenes grossen Principes von der Erhaltung der Kraft gegeben, das durch Helmholtz in das allgemeine Bewusstsein der Naturwissenschaften eingeführt worden ist. Denn während es das Band darstellt, welches die verschiedenen Reiche der Natur aneinander fesselt, einem allgemeinen Gedanken die ganze Welt des Geschehenden unterordnend, gestattet es bei grösster Strenge doch auch die einfachste Behandlung der Probleme. Gleich dem Principe von der Erhaltung der Materie muss es darum an theoretischem Werthe noch über das von Newton aus den Kepler'schen Wahrheiten abgeleitete Gravitationsgesetz gestellt werden, welches uns zum Theil wegen der Erhabenheit seines Gegenstandes so grosse Ehrfurcht einflösst.

Digitized by Google

Den Physiologen, der diesem Gebiete näher steht, brauche ich wohl endlich nicht aufmerksam zu machen auf die grosse Anstrengung und ungewöhnliche Arbeit, welche diese Untersuchungen in Anspruch genommen haben. Möchte der Leser darum die Schwächen und Mängel dieses Werkes mit dem unermüdlichen darin bewiesenen Eifer entschuldigen.

Berlin, im November 1858.

Ed. Pflüger.

Inhaltsverzeichniss.

Seite

Vorrede . . . . III — VIII

I. Geschichte.

Geschichte . . . . 1 — 72

Zur Geschichte der Nachwirkungen des constanten Stromes . 72 — 92

II. Methode.

1. Die nicht polarisirbaren Electroden . . . . 95 — 102
2. Das Myographion . . . . 102 — 110
3. Der electro-magnetische Fallapparat . . . . 111 — 121
4. Der Rheochord . . . . 121 — 125
5. Der Multiplicator . . . . 125 — 126
6. Der Inductionsapparat . . . . 126 — 133
7. Die Aufbewahrung der Frösche . . . . 133 — 135

III. Untersuchung.

Abschnitt I.

Ueber den Einfluss des Abstandes der gereizten Nervenstrecke vom Muskel auf die Stärke seiner Zuckung . . . . 140 — 158

Abschnitt II.

Untersuchung der Veränderung der Erregbarkeit vor dem aufsteigenden Strome.

Kapitel I. Nachweisung der erhöhten Erregbarkeit.

1. Nachweisung der erhöhten Erregbarkeit vor dem aufsteigenden constanten Strome mit Hülfe des Reizes eines absteigenden Kettenstromes . . . . 160 — 167
2. Nachweisung der erhöhten Erregbarkeit vor dem aufsteigenden Strome mit Hülfe eines reizenden aufsteigenden Kettenstromes . . . . . . 167 — 171

Seite

3. Nachweisung der erhöhten Erregbarkeit vor dem aufsteigenden Strome mit Hülfe eines reizenden aufsteigenden Oeffnungs-Inductionsschlages . . . . 171 — 176
4. Nachweisung der erhöhten Erregbarkeit vor dem aufsteigenden Strome mit Hülfe des Schliessungs-Inductionsschlages . . . . 176 — 178
5. Nachweisung der Unabhängigkeit des Erscheinens der erhöhten Erregbarkeit von der Stromesrichtung . . . . 178 — 179
6. Nachweisung der erhöhten Erregbarkeit mit Hülfe der chemischen Reizung . . . . 179 — 186

Kapitel II. Ueber den Einfluss des Abstandes einer gegebenen Nervenstrecke von den Electroden des constanten Stromes auf die Stärke des extrapolaren aufsteigenden Katelectrotonus.

1. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der Mittelwerthe und des Reizes einer Kette . . . . 186 — 199
2. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der Mittelwerthe und des Reizes eines Oeffnungs-Indnctionsschlages 199 — 206
3. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der Mittelwerthe und des Reizes eines Schliessungs-Inductionsschlages . . . . 206 — 215
4. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der Verschiebung der Reizelectroden . . . . 215 — 221
5. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der Verschiebung der dem polarisirenden Strome angehörenden Electroden . . . . 221 — 227
6. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des

Digitized by Google

Seite
aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der chemischen Reizung 227 — 236
Kapitel III. Untersuchung der Abhängigkeit des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Stärke des constanten electrotonisirenden Stromes 236 — 248
Kapitel IV. Untersuchung der Abhängigkeit des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Länge der intrapolaren Strecke . . . . 248 — 264
Kapitel V. Untersuchung der Abhängigkeit des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Zeit . . . . 264 — 276

Abschnitt III.

Untersuchung der Veränderung der Erregbarkeit hinter dem aufsteigenden Strome
Kapitel I. Nachweisung des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus . . . . 277 — 284
Kapitel II. Ueber den Einfluss des Abstandes einer gegebenen Nervenstrecke von den Electroden des constanten Stromes auf die Stärke des extrapolaren absteigenden Anelectrotonus . . . . 284 — 309
1. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der Mittelwerthe und des Reizes einer Kette . . . . 284 — 290
2. Nachweisung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der Mittelwerthe und des Reizes eines Schliessungs-Inductionsschlages . . . . 290 — 302
3. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der Verschiebung der Reizelectroden . . . . 302 — 306
4. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der Verschiebung der dem polarisirenden Strome angehörenden Electroden 306 — 308
5. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von

Seite

der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der chemischen Reizung . 308 — 309

Kapitel III. Untersuchung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Stärke des constanten electrotonisirenden Stromes 309 — 313

Kapitel IV. Untersuchung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Länge der intrapolaren Strecke . . . . 313 — 319

Kapitel V. Untersuchung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Zeit 319 — 326

Abschnitt IV.

Untersuchung der Veränderung der Erregbarkeit vor dem absteigenden Strome.

Kapitel I. Nachweisung des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus . . . . 327 — 331

Kapitel II. Ueber den Einfluss des Abstandes einer gegebenen Nervenstrecke von den Electroden des constanten Stromes auf die Stärke des extrapolaren Katelectrotonus.

1. Nachweisung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der Mittelwerthe . . . . 331 — 337

2. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der Verschiebung der Reizelectroden . . . . 337 — 339

3. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der Verschiebung der dem polarisirenden Strome angehörenden Electroden 339 — 341

4. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der chemischen Reizung . 341 — 342

Kapitel III. Untersuchung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Stärke des constanten electrotonisirenden Stromes 342 — 346

Kapitel IV. Untersuchung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Länge der intrapolaren Strecke . . . . 346 — 349

Digitized by Google

Seite

Kapitel V. Untersuchung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Zeit 349 — 355

Abschnitt V.

Untersuchung der Veränderung der Erregbarkeit hinter dem absteigenden Strome.

Kapitel I. Nachweisung des extrapolaren aufsteigenden Anelectrotonus . . . . 356 — 358

Kapitel II. Ueber den Einfluss des Abstandes einer gegebenen Nervenstrecke von den Electroden des constanten Stromes auf die Stärke des extrapolaren aufsteigenden Anelectrotonus . . . . 359 — 386

1. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der Mittelwerthe und des Reizes einer Kette . . . . 359 — 367
2. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der Mittelwerthe und des Reizes eines Schliessungs-Inductionsschlages 367 — 374
3. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der Verschiebung der Reizelectroden . . . . 374 — 382
4. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Verschiebung der dem polarisirenden Strome angehörenden Electroden . . . . . 382 — 385
5. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der chemischen Reizung . 385 - 386

Kapitel III. Untersuchung der Abhängigkeit des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Stärke des constanten polarisirenden Stromes . . . 386 — 388

Kapitel IV. Untersuchung der Abhängigkeit des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Länge der intrapolaren Strecke . . . . 388 — 390

Kapitel V. Untersuchung der Abhängigkeit des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Zeit 390 — 391

Digitized by Google

Seite

Abschnitt VI.

Untersuchung der Veränderung der Erregbarkeit in der aufsteigend durchflossenen Strecke.

Kapitel I. Untersuchung der Veränderung der totalen Erregbarkeit in der aufsteigend durchflossenen Strecke als Function der Stromstärke . . . . . 392 — 401

Kapitel II. Einfluss der Länge der intrapolaren polarisirten Strecke auf die Grösse der totalen Erregbarkeit derselben . . . . 401 — 406

Kapitel III. Nachweisung der Veränderung der totalen Erregbarkeit der intrapolaren Strecke als Function der Stromstärke mit Hülfe der chemischen Reizung . . . . 406 — 407

Kapitel IV. Nachweisung der Veränderung der partiellen Erregbarkeit der intrapolaren Strecke als Function der Stromstärke . . . . 407 — 414

Kapitel V. Ueber die Abhängigkeit der totalen Erregbarkeit der intrapolaren Strecke von der Zeit 414 — 415

Abschnitt VII.

Untersuchung der Veränderung der Erregbarkeit in der absteigend durchflossenen Strecke.

Kapitel I. Untersuchung der Veränderung der totalen Erregbarkeit als Function der Stromstärke . 416 — 419

Kapitel II. Untersuchung der Abhängigkeit der Erregbarkeitsänderungen von der Länge der intrapolaren Strecke . . . . 419 — 425

Kapitel III. Untersuchung der totalen Erregbarkeitsänderung in der absteigend durchflossenen Strecke als Function der Stärke des polarisirenden Stromes mit Hülfe der chemischen Reizung 425 426

Kapitel IV. Untersuchung der Veränderung der partiellen Erregbarkeit der absteigend durchflossenen Strecke als Function der Stärke des electrotonisirenden Stromes . . . . 426 — 428

Kapitel V. Untersuchung der Abhängigkeit der totalen Erregbarkeit der absteigend durchflossenen intrapolaren Strecke von der Zeit 428

Abschnitt VIII.

Einige allgemeine thatsächliche Betrachtungen.

Kapitel I. Ueber den Einfluss verschiedener Umstände, welche die Thiere während des Lebens getroffen haben . . . . 429 — 430

Google

Seite

Kapitel II. Ueber gewisse Beziehungen zwischen Anelectrotonus und Katelectrotonus . . . . 430 — 432

Kapitel III. Ueber die Beziehungen der Erregbarkeitsänderungen zu den Veränderungen der electromotorischen Kräfte des Nerven im electrotonischen Zustande . . . . 432 — 444

Kapitel IV. Ueber die Beziehungen der Gesetze des electrotonischen Zustandes zu dem allgemeinen Gesetze der electrischen Reizung und der tetanirenden Wirkung des constanten Stromes . . . . 444 — 453

Kapitel V. Ueber die Beziehungen der Gesetze des electrotonischen Zustandes zu dem Gesetze der Zuckung . . . . 453 — 461

IV. Theorie der inneren Mechanik des Nerven.

Theorie der inneren Mechanik des Nerven . . . . 465 — 500

Zur Erklärung der Tafeln . . . . 501 — 502

Digitized by Google

I.

Geschichte.

Digitized by Google

Geschichte.

Wir werden in diesem Werke nicht allein die während der Stromesdauer auftretenden Veränderungen der physiologischen Eigenschaften des Nerven zu erforschen versuchen, sondern auch diejenigen, welche nach der Einwirkung des Stromes auftreten und als „Modification der Erregbarkeit durch den constanten Strom“ bereits seit länger die Aufmerksamkeit der Forscher auf sich gezogen haben.

Wir wenden uns hiernach zunächst zur Geschichte derjenigen Thatsachen, welche in Bezug stehen zu den während der Stromesdauer auftretenden Veränderungen der Nervenerregbarkeit.

Man darf wohl mit Recht erstaunt sein, wenn man hier die Erfahrung macht, dass die gesammte ältere Literatur des Galvanismus keinerlei Beobachtungen mittheilt, welche unserem Gegenstande unzweifelhaft angehörten. Gleichwohl sind diese Erscheinungen nicht etwa von so feiner Art, dass man sich auf den Mangel der damaligen Methode berufen könnte, sondern es haben die älteren Forscher bereits so zarte anderweitige Differenzen richtig aufgedeckt, zu denen eine ungleich bedeutendere Schärfe der Beobachtung nothwendig war. Die Geschichte der Entwicklung der menschlichen Wissenschaften bietet uns mehr Beispiele ähnlicher Art, wo der menschliche Geist, von dunklem Ahnen bewegt, gebannt scheint

Digitized by Google

in einen beschränkten Kreis von Betrachtungen, aus welchem er nicht herauszutreten vermag und darum blind ist für die offene Wahrheit, die am Wege liegt.

Nur bei Ritter, dem unermüdlichen Forscher auf diesem Felde, finden sich einige Thatsachen, welche vielleicht unserem Gebiete angehören. Bei Untersuchung des Gesetzes der electrischen Empfindungen, wo der Säulenkreis durch beide Arme geschlossen ist, sagt Ritter:

„In diesem Versuch (S. Gilbert's Annal. d. Phys. Bd. VII. p. 477—483.) blieb ich mit einer ziemlich stark wirkenden galvanischen Batterie eine gute halbe Stunde lang in Verbindung. Während dieser bemerkte ich bei immer weiter abnehmender unmittelbarer Wahrnehmung des von der Batterie verursachten Zustandes des Organs auf jeder Seite, eine immer grösser werdende Abnahme an Beweglichkeit in dem Finger, der Hand und dem Arm auf der Silberseite (negativer Pol) der Batterie; in den gleichnamigen Theilen auf der Zinkseite derselben hingegen eine deutlich und deutlicher werdende Zunahme an Beweglichkeit, eine Leichtigkeit diese Theile zu bewegen, welche die merklich übertraf, mit der ich vor dem Versuch sie bewegen zu können mich erinnern konnte. Beides dauerte nach der Aufhebung des Versuches noch eine gute Zeit fort und verschwand später erst nach einer Reihe unmerklicher Uebergänge wieder so weit, dass die Organe wieder in demjenigen gleichen Zustande waren, mit welchem sie anfangs in den Versuch gekommen waren. Bei einer Wiederholung des Versuchs, wo ich noch mehr als bei seiner ersten Anstellung auf Vermeidung alles Dessen, was in den Nebendingen eine Ungleichheit hätte setzen können, die an sich etwas zu einem mehr oder minder ungleichen Erfolg hätte beitragen können, sah ich die Hand und den Arm auf der Silberseite in eine wirkliche Steifheit übergehen, mit einem Widerstand gegen willkürliche Bewegung, der nicht gering war; nur auf der Zinkseite der Batterie wurde die Vergrösserung der Beweglichkeit hier noch auffallender, als ich sie in jenen ersten Versuchen wahrgenommen zu haben mich erinnern konnte. In

Digitized by Google

beiden Anstellungen dieses Versuchs war gegen Ende desselben alle unmittelbare Wahrnehmung eines Zustandes von der Batterie aus bewirkt, so ganz verschwunden, dass ich fast geglaubt hätte, gar nicht in Verbindung mit dieser zu sein, wenn nicht der Apparat des Versuches mich sogleich eines anderen belehrt und eine Art von Lust in dem Arm auf der Zinkseite, durch Willkür bewegt zu werden, mich verleitet hätte, sowohl ihn, als zum Gegenversuch auch den Arm auf der Silberseite, wirklich zu bewegen und daraus einen Unterschied beider in der Geschicklichkeit dazu abzunehmen, der nur ein Werk der fortdauernden Wirkung der Batterie sein konnte.“ (S. Ritter's Beiträge zur nähern Kenntniss des Galvanismus etc. Jena 1802. Bd. II. Stück II. p. 57—59.)

Zur Erklärung dieser merkwürdigen Thatsache ergeht sich Ritter in unklaren philosophischen Betrachtungen, die zu erörtern nicht der Mühe lohnen würde.

Du Bois-Reymond bringt diese während der Säule vorhandene Veränderung in der Erregbarkeit des motorischen Nerven im lebenden Körper in Verbindung mit dem von Ritter aufgestellten Gesetze für die Modification der Erregbarkeit durch den constanten Strom, demzufolge der aufsteigende Strom einen Zustand vermehrter Erregbarkeit, der absteigende aber einen Zustand verminderter zurücklässt, wenn die Kette geöffnet wird. (S. du Bois-Reymond, Untersuchungen über thierische Electricität Bd. I. p. 367.)

Während Ritter indessen dieses Gesetz selber noch mannigfach modificirt hat, hat sich auch durch meine Untersuchungen nunmehr herausgestellt, dass der Zustand des Nerven während des Stromes keinen so unmittelbaren Schluss auf den Zustand nach Unterbrechung desselben gestattet, wie wir später sehen werden. Die Ritter'sche Darstellungsweise scheint mir der Art, dass man nicht gut berechtigt ist, in seine Angaben gegründete Zweifel zu setzen, um so mehr, als das von ihm angegebene Verhalten des motorischen Nerven am lebenden menschlichen Körper in so vollendeter Uebereinstimmung mit den von mir aufgestellten Gesetzen ist, dass es sich nur als eine einfache Folgerung derselben darstellt. Die Sache

Digitized by Google

ist folgende: Wenn wir durch unseren Körper den Säulenkreis schliessen, indem wir die eine Hand mit dem positiven Pol, die andere mit dem negativen in Berührung bringen, so werden die Armnerven von ungleich dichteren Strömen durchflossen, als das Armgeflecht oder gar das Rückenmark mit seinen motorischen Wurzeln, weil hier der Querschnitt der Strombahn so ausserordentlich gross ist, dass wir im Allgemeinen die Stromesdichte für verschwindend ansehen dürfen. Aus diesem Grunde kann man den absteigend durchflossenen Arm sich so vorstellen, als ob die positive Electrode auf die Schulter, die negative auf die Hand aufgesetzt sei. Für den aufsteigend durchflossenen findet demnach die umgekehrte Vertheilung statt. Ich habe aber gezeigt, dass Reizung oberhalb eines absteigenden Stromes schwächere Zuckungen als im natürlichen Zustande, Reizungen oberhalb eines aufsteigenden Stromes stärkere als im natürlichen Zustande erzeugt, wenn die Stromstärken gewisse Grenzen nicht überschritten haben, was doch aller Wahrscheinlichkeit nach hier auch nicht der Fall ist. Da nun dieses Gesetz unabhängig ist von der specifischen Natur des Reizes, so tritt hier der Versuch Ritter's in der eminent interessanten Form auf, dass das Sensorium selber das Geschäft der Reizung einmal oberhalb einer positiven Electrode, dann oberhalb einer negativen übernimmt. Da demnach der Ritter'sche Versuch in vollendetster Uebereinstimmung mit wohlbegründeten Thatsachen sich befindet, so ist es kaum zweifelhaft, dass demselben objective Wahrheit zukomme. Unwahrscheinlicher würde aber diese Vermuthung für die Versuche ausfallen, wo er Aehnliches von verschiedenen Fingern derselben Hand erzählt, wo sich der electrotonische Zustand von dem Finger aus, der nur Empfindungsnerven hat, doch nicht gleichgerichtet auf den Bewegungsnerven dieses Fingers fortpflanzen könnte. (S. Ritter a. a. O. p. 60.)

An einer anderen Stelle behauptet Ritter einige Thatsachen, die ebenfalls erstaunlich merkwürdig sind, weil ihnen, wie sich nun neuerdings herausgestellt hat, in der That etwas Wahres zu Grunde liegt.

Ritter hatte nämlich, wie sich bereits aus der oben mitgetheilten Stelle, sowie aus vielen anderen ergiebt, die Vorstellung, dass der Strom vom Augenblicke der Schliessung ab den Nerven fortwährend verändere, was sich dann beim Oeffnen in verschiedener Weise als Modification der Erregbarkeit darselle. Nach einer der letzten Arbeiten Ritter's nämlich sind die Modificationen der Erregbarkeit nicht rein örtlicher Natur, d. h. auf die Stelle beschränkt, welche der Strom unmittelbar durchflossen hat, sondern es pflanzen sich dieselben mit umgekehrtem Zeichen nach dem Muskel zu durch den Nerven fort, also als Depression, wo es sich um einen aufsteigenden und als Exaltation, wo es sich um einen absteigenden Strom handele, sowie um eine geringere Stufe der Erregbarkeit des Froschnerven. Die Prüfung geschah mit der modificirenden Kette, mit welcher man zwei verschieden modificirte Strecken prüft. Wie wir nun wissen, ist allerdings zwischen der positiven Electrode des aufsteigenden Stromes und dem Muskel die Erregbarkeit herabgesetzt, zwischen der negativen und dem Muskel beim absteigenden Strome aber vermehrt. Dass endlich ähnliche Erfahrungen unter Verhältnissen auch nach der Oeffnung der Kette zu beobachten sind, werde ich später erörtern. (S. du Bois-Reymond, a. a. O. Bd. I. p. 372. — Ritter, Gehlen's Journal für die Chemie, Physik und Mineralogie 1808. Bd. VI. p. 421.)

In den gegebenen Thatsachen liegen offenbar die ersten Andeutungen und Anfänge unseres Gebietes. Aber erst mehr denn 20 Jahre später beobachtete der ausgezeichnete Physiker Nobili eine complicirte Erscheinung, welche entschieden uns angehört und deren Bedeutung und tiefen Werth er auch sogleich durchschaute. Nobili beobachtete, dass Froschpräparate, welche zufällig ohne ihm bekannte Ursache in *tetanus* verfallen waren, sich sofort beruhigten, wenn man einen Strom in bestimmter Richtung durch sie hindurchleitete, obschon er zugiebt, dass möglicherweise beiden Richtungen diese Eigenschaft zukommen könne. (Annal. de chimie et de physique. Mai 1830. p. 30.) Nobili giebt sogleich eine tiefgehende Erklärung der Thatsache, indem er annimmt, dass der Nerv

durch den Strom in einen Zustand versetzt wird, durch welchen er unfähig wird, den Zuckung erregenden Vorgang einzugehen und fortzupflanzen. (S. du Bois-Reymond, a. a. O. p. 383.) Ausserdem empfiehlt Nobili seine Wahrnehmung den Aerzten, zur Beseitigung des Tetanus. Es ist merkwürdig, dass Nobili diese so wichtige Beobachtung so wenig einer weiteren Erforschung würdigte, um derselben eine strengere oder weniger verwickelte Form zu geben.

Einige Zeit später sind von Matteucci Versuche angestellt worden, welche unserem Gebiete angehören, leider aber wenig oder nichts zur Förderung des Gegenstandes beigetragen haben.

Derselbe schloss eine Trogvorrichtung von 15 Kupferzinkplattenpaaren mittelst eines Froschschenkels, welcher das Wasser eines Glases mit dem eines anderen verband, in dem die Enden der Säule tauchten. Brachte er nun die Enden eines Kupferzinkbogens in das Wasser der beiden Gläser, so blieb der Froschschenkel vollkommen ruhig, obwohl ein in dem Kreise der Säule aufgestellter Multiplicator die Vermehrung oder Verminderung des in ihm kreisenden Stromes anzeigte, je nach der Richtung, in welcher mit dem neuen Elemente zwischen den Gläsern geschlossen wurde. Es ist freilich fraglich, ob der Schenkel gezuckt haben würde, wenn bei gleicher Anordnung der Leitungscombinationen die electromotorischen Kräfte der Säule nicht vorhanden gewesen wären. Ebensowenig wie vorhin zuckte der Schenkel, wenn der Bogen ihm unmittelbar angelegt wurde, wobei allerdings auch der Multiplicator schwieg, was daraus erklärt werden muss, dass die Verringerung des Widerstandes der kurzen gegebenen Strecke durchaus verschwand gegen den grossen vorhandenen Widerstand, wie dies bereits du Bois-Reymond dargelegt hat. Unerklärlich findet es nun du Bois-Reymond, warum der Frosch bei jeder Lage des Bogens keine Zuckung gab, indem der Frosch eine lebhafte Oeffnungszuckung hatte geben müssen, auch dann, wenn der Bogen nur aus einem Metall gewesen wäre. (S. du Bois-Reymond, a. a. O. p. 294 u. 285., Matteucci, Essai p. 18. Chap. VIII. Fig. 6.) Sodann

stellt Matteucci die Behauptung auf, dass die aufsteigende Strömungsrichtung den Tetanus aufhebe, während die absteigende ihn vermehre. Ja Matteucci wendet sogar jetzt den constanten Strom zur Heilung des Tetanus an, indem er einen Strom einer 30—40 paarigen Säule vom Kreuzbein nach dem Nacken hindurchleitete, wobei allerdings die Krämpfe verschwunden sein sollen. Doch waren die Erfolge nur vorübergehend. (S. Comptes-rendus 13. Mai 1838. t. VI. p. 680. — Essai p. 28 et 29. — du Bois-Reymond a. a. O. Bd. I. p. 482.) —

Im Traité spricht Matteucci später von der Eigenschaft des constanten Stromes von gewisser Intensität den Tetanus narkotisirter Frösche zum Verschwinden zu bringen, wobei er also den Einfluss der Richtung wiederum zurücknimmt. Denn er sagt ausdrücklich: *„Afin de rendre moins forte la contraction qui a lieu au commencement du courant, il vaut mieux employer le courant inverse“* (Traité p. 270.). Eckhard macht in der von ihm behandelten Geschichte des Gegenstandes hier den Zusatz, dass Matteucci allen Grund hatte, beiden Stromesrichtungen eine lähmende Wirkung zuzuschreiben. (S. Eckhard. Beitr. p. 26.) Wir werden später erfahren, dass diese Bemerkung unrichtig ist.

Wie man sofort übersieht, ist geradezu Nichts für die Theorie Werthvolles durch dieses vage Hin- und Hertappen gewonnen; ja man hat sogar stets, wie es scheint, den Muskel mit in den Stromeskreis aufgenommen, sodass es ja durchaus noch fraglich ist, ob wir es hier mit einer Wirkung auf die Muskeln oder Nerven zu thun haben.

Von diesem Verdachte ebenfalls nicht ganz frei ist endlich noch eine von du Bois-Reymond gelegentlich gemachte auf unser Gebiet einschlagende Beobachtung: „Der Nerv eines äusserst erregbaren stromprüfenden Schenkels, welcher Schliessungs- und Oeffnungszuckung auf den eigenen Strom gab, war im Austrocknen begriffen. Demgemäss zeigte der Gastroknemius eine dichtgedrängte Reihe ungleicher Zuckungen, öfters durch einen tiefen Stoss unterbrochen. Dies fand statt, so lange der Nerv freischwebend gehalten wurde. Man

erinnert sich aus der Geschichte des Froschstromes, dass einer Bemerkung Volta's zufolge die Zuckung ohne Metalle erst dann erscheint, wenn der Nerv mit der Achillessehne und ihrer Ausbreitung in Berührung kommt. Erst dann ist also die Muskelkette als geschlossen anzusehen. Es zeigte sich nun, dass das Zucken des Muskels fortdauerte, wenn der Nerv auf den Muskel herabgelassen, nur das Fleisch desselben berührte, dass aber auf der Stelle die vollkommenste Ruhe eintrat, sowie der Nerv die Ausbreitung der Achillessehne erreichte. In diesem Falle war der Nerv aufsteigend durchflossen", während nach Eckhard der Muskelstrom im anderen Falle absteigend war. (S. du Bois-Reymond, a. a. O. Bd. I. p. 383 u. 384 und Eckhard, Beiträge zur Anatomie u. Physiologie, Heft 1. p. 26.) Der unrichtige Zusatz Eckhard's beruht offenbar darauf, dass er sich den Bau des Gastroknemius nicht klar gemacht hat, welcher aussen am oberen Theile keine Sehne hat und bei Ableitung zweier Punkte des Fleisches einen aufsteigenden Strom im Muskel anzeigt, wie ich von du Bois-Reymond aus mündlicher Mittheilung weiss.

Der Erste, welcher an dies Gebiet mit strengeren Versuchen heranging und besonders sogleich den Beweis stellte, dass der durch den Strom erzeugte Zustand im Nerven erzeugt wird, ist Valentin. Dieser Forscher substituirt jenen zufälligen Reizen, deren Sitz meist unbekannt war, den electrischen Reiz, welchen er ausserdem auf eine gegebene Stelle des Nerven beschränkt, sowie er auch den constanten Strom nur eine ganz bestimmte Strecke den Nerven umfassen lässt.

Der wichtigste Versuch, welchen Valentin angestellt hat, ist folgender:

Er legte das Electrodenpaar des constanten Stromes an den Ischiadicus dicht über dem Knie an, wobei die Länge der durchflossenen Strecke = 5 Mm. gesetzt war. In einer Entfernung von 19 Mm. von den Electroden des constanten Stromes lagen die des reizenden nahe der Stelle, wo der Nerv durch das Becken tritt. Der Electrodenabstand des reizenden Stromes betrug ebenfalls 5 Mm. Wurde nun der constante Strom geschlossen, so erhielt man durch den reizenden Strom

Digitized by Google

schwächere Zuckungen als vorher oder selbst gar keine. Das untere anhaltend durchflossene Stück hinderte augenblicklich die Wirkungen des oberen. Dieses hatte dagegen seinen Einfluss unmittelbar nach der Oeffnung der zweiten Kette wiedergewonnen.“ (S. Valentin, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Bd. II. Abth. 2. p. 655.)

An einer späteren Stelle hebt Valentin nochmals diese merkwürdige Thatsache hervor, indem er zugleich eine Theorie derselben aufstellt. „Sie (die Nervenatome) dürfen in keiner Spannung, welche ihre Beweglichkeit hindert oder aufhebt, erhalten werden. Ein abgleitender electrischer Strom, der eine centralere Stelle des Hüftnerven trifft, ruft daher keine Verkürzungen hervor, wenn ein peripherischerer Abschnitt von einem anhaltenden Strome gleichzeitig durchflossen wird. Heben wir diesen letzteren auf, so kehren die Verkürzungen auf der Stelle wieder.“ (S. a. a. O. p. 657.) Wir erkennen hieraus, dass Valentin ebenso vollkommen richtig die „lähmende Wirkung des constanten Stromes“ gekannt hat, wie sie spätere Untersuchungen darlegten. Ihm kommt das Verdienst zu, den Beweis geführt zu haben, dass es der Nerv ist, welchen der constante Strom auf einige Zeit leitungsunfähig zu machen vermag. Noch konnte man aber glauben, dass die Hemmung der Leitung der Reizung nur in der unmittelbar durchflossenen Strecke ihren Grund habe, indem die von den centraleren Stellen nach den peripherischeren fortschreitende Innervation gleichsam an dieser unmittelbar durchströmten Stelle brande.

Aber Valentin gelang es nun sogar, unter gewissen günstigen Verhältnissen den Nachweis zu führen, dass der Reiz auch dann unwirksam wird, wenn er sich zwischen Muskel und constantem Strome befindet, wo sich dann also ein veränderter Molecularzustand von der unmittelbar vom constanten Strom durchflossenen Strecke nach abwärts durch den Nerven also centrifugal fortgepflanzt haben muss. Wie richtig Valentin diese wichtige Thatsache bemerkt hat, geht aus seiner ferneren Behauptung hervor, dass nur dem aufsteigenden, nicht aber dem absteigenden Strome jene Wirkung

zukomme, wie dies vollkommen durch neuere Untersuchungen bestätigt worden ist. (S. Valentin a. a. O. p. 655.) Dass Valentin diese Erscheinungen nicht constant beobachtete, thut der Richtigkeit seiner Beobachtung keinen Eintrag. Denn es waren ihm nur die näheren Bedingungen nicht bekannt, unter welchen dieselbe Erscheinung unfehlbar stets auftritt — nämlich die passende Entfernung des Reizes von der positiven Electrode des constanten Stromes, sowie die Nothwendigkeit grösserer Stärke desselben für grössere Entfernungen der gereizten Stelle von der vom constanten Strome unmittelbar durchflossenen, Bedingungen, welche erst durch meine Untersuchungen über den Gegenstand in das Klare gesetzt worden sind. Er bedient sich indessen zur Hervorbringung jener Wirkung des Kunstgriffes, einige Zeit den constanten Strom erst absteigend fliessen zu lassen und ihn dann aufsteigend zu wenden, wo die Erregbarkeit herabsetzende Wirkung des letzteren stärker auftritt. Ich selbst bin dieser Thatsache beiläufig auch in meinen Untersuchungen aufgestossen und kann sie bestätigen. So weit Valentin.

Der nächste Forscher, welcher seine Aufmerksamkeit dem Gegenstande zuwandte, war Eckhard in seiner Arbeit: „Der galvanische Strom als Hinderniss der Muskelzuckung.“ (Henle u. Pfeuffer, Zeitschrift für rationelle Medicin. N. F. Bd. III. p. 198.)

Derselbe bestätigt zunächst den von Valentin entdeckten Satz, dass eine electrische Reizung des Nerven unwirksam gemacht werden kann, wenn man zwischen ihr und dem Muskel einen constanten Strom durch eine gegebene Strecke des Nerven hindurchfliessen lässt. Eckhard eigenthümlich und nicht ohne Werth ist die Bestätigung desselben Satzes für mechanische und chemische Reizung. Für die electrische Reizung bestimmt Eckhard in Bezug auf die Richtung der Ströme, bei welchen am leichtesten die lähmende Wirkung zu Tage tritt, dass beide Ströme, sowohl der constante, wie der reizende, den Nerven aufwärts durchziehen. „Der günstige Umstand ist, wie es sich abermals bei Anwendung nur weniger Elemente herausstellt, wenn beide Nervenstücke von den

Digitized by Google

betreffenden Strömen aufwärts durchzogen werden. Bei stärkerer mehrelementiger Kette (5—6 Daniell) haben alle Stromesrichtungen ohne Unterschied die Wirkungen der oberen, schwächeren Kette auf.“ Wir werden in der Folge erfahren, dass dieser Satz unrichtig ist, obschon ihn Eckhard, wie wir bald sehen werden, nochmals in seiner neuesten Arbeit über den Gegenstand vorgebracht hat.

Befindet sich der (electrische oder chemische) Reiz zwischen dem constanten Strome und dem Muskel, so ist der Erfolg, ganz wie auch Valentin behauptete, nicht so sicher mehr. Im Unterschiede aber mit Valentin, der nur bei aufsteigendem Strome eine lähmende Wirkung gesehen haben will, behauptet Eckhard, dass die aufsteigende Richtung des constanten Stromes günstiger als die absteigende Richtung sei. Diese Behauptung Eckhard's war unrichtig und er hat sie denn auch in seinen neueren Untersuchungen rectificirt.

Eckhard giebt sogar an dieser Stelle bereits Gesetze für den Einfluss der relativen Stärke beider Ketten auf die Lähmungserscheinungen. Denn er sagt: „Wechselt man die Kette, so dass die mehrelementige an das centrale Ende des Nerven, die einelementige abwärts von derselben angebracht wird, so versagt während des Schlusses der ersteren eben wohl die letztere. Allein es findet der wohl zu beachtende Unterschied statt, dass um Schliessen und Oeffnen der unteren Kette vollständig unwirksam zu machen, die Differenz der Stromstärken beider Ketten bedeutend grösser sein muss, als bei der vorhin beschriebenen gegenseitigen Stellung beider Ketten,“ (wo nämlich die reizende Kette oberhalb der constanten angelegt war). (S. Eckhard, a. a. O. p. 200.)

Dieser Satz Eckhard's ist durchaus falsch, wie sich unmittelbar daraus ergiebt, dass oberhalb des aufsteigenden Stromes nach meiner Entdeckung die Erregbarkeit so erhöht ist, dass bei Reizung dieser Stellen vor dem aufsteigenden Strome von bestimmter Grösse die Zuckungen während der Dauer des constanten Stromes bedeutend verstärkt sind, während die Reizung der Strecken hinter demselben aufsteigenden Strome, also zwischen constantem Strome und Muskel stets

Digitized by Google

schwächere Zuckungen ergiebt, wenn der constante Strom fliesst, welches auch immer seine Stärke sein mag. Wir werden später finden, dass die Eckhard'sche Behauptung nur unter ganz bestimmten Bedingungen richtig ist, und deshalb weit entfernt, der Ausdruck eines allgemeinen Gesetzes zu sein.

Eckhard sucht hierauf zu zeigen, dass die Lähmung nicht etwa dem Muskel zukomme — indem sich irgendwelcher Zustand von dem Nerven nach demselben fortpflanze und seine Theile unfähig mache sich zu contrahiren, sondern lediglich den Nerven und zwar durch deren electrotonischen Zustand bedingt sei.

„Wir haben nämlich (sub 3.)“ sagt Eckhard, „gefunden, dass die Schwankungen der oberen schwächeren Kette bei stärkerer unteren Zuckungen hervorrufen, wenn die Electroden an den Muskel angelegt werden, und bekanntlich ermangelt dieser des electrotonischen Zustandes ganz und gar oder besitzt denselben in einem sehr geringen Grade.“ (S. Eckhard a. a. O. p. 201.) Sub 3. aber sagt Eckhard:

„Bringt man ein Stück des centralen Endes des Nerven in den Kreis einer schwachen Kette, also etwa eines Elementes, dessen Stromstärke man vielleicht noch durch einen eingeschalteten feuchten Leiter von geringem Querschnitt geschwächt hat und nimmt überdies ein zweites gegen den Muskel hin gelegenes Stück in eine mehrelementige Kette, so wird während der ganzen Dauer des Schlusses der letzteren, jede Schwankung der ersteren, auch ihre grösste Oeffnen und Schliessen unwirksam. — — — Bringt man die Electroden der unteren an dem Muskel an, so ist sofort die obere wieder wirksam.“ (S. Eckhard a. a. O. p. 200.)

Hieraus glaubt nun Eckhard ableiten zu können, dass der Lähmungszustand nur in dem Nerven seinen Grund habe, eine Frage, deren Entscheidung allerdings wichtig genug ist, welche aber Eckhard hier selbst nicht einmal wahrscheinlich gemacht hat. Denn seine Betrachtung enthält zwei Fehler.

Wenn nämlich die untere Kette, welche dem Nerven angelegt wurde, nunmehr dem Muskel applicirt wird, so lässt sich im Allgemeinen durchaus nicht behaupten, dass die Dichte

Digitized by Google

des Stromes dieselbe bleibe. Denn jede Vergrösserung des Querschnittes auf einem Theile des Stromkreises erzeugt zwar eine Zunahme der Stromstärke, aber ebenso sicher eine Abnahme der Dichtigkeit in demjenigen Theile, dessen Querschnitt zugenommen hat. Diese Abnahme der Dichtigkeit ist aber um so grösser, je kleiner der Widerstand des betrachteten Theiles ausfällt gegen den übrigen im Kreise vorhandenen Widerstand, welcher hier bei mehren Daniell'schen Elementen nicht ohne Weiteres vernachlässigt werden kann. Wenn nun nicht allein der Querschnitt der betrachteten Theile zunimmt, sondern sich gleichzeitig wie hier der Leitungswiderstand ändert, so kann wohl jene durch Vermehrung des Querschnittes in diesem stets herbeigeführte Abnahme der Stromdichte compensirt werden durch die gleichzeitige Abnahme des Leitungswiderstandes, so zwar, dass sich durch die eingeführten Variationen die Stromdichte nicht ändert, ja sogar zunimmt, wie man unmittelbar übersieht, was aber hier sehr unwahrscheinlich sein dürfte. Wenn aber, wie kaum zu bezweifeln, der Electrodenabstand grösser am Muskel ausfiel, so liegt die Möglichkeit entschieden vor, das die Dichte des den Muskel durchziehenden Stromes kleiner war als diejenige, welche den Nerven durchfloss, ein Umstand, den Eckhard genauer hätte erwägen müssen.

Abgesehen aber hiervon begreift man nicht, wie Eckhard irgend welchen Schluss aus seiner Beobachtung sich in Bezug auf den Muskel allein erlaubt, als ob in dem Muskel keine Nerven wären, dieselben Nerven, welche er vorher einzeln im Stamme des Ischiadicus dem constanten Strome aussetzte.

Würde nicht Eckhard ebenso folgerichtig behauptet haben, dass auch die intramuskularen Nervenfasern unfähig seien, in jenen merkwürdigen Zustand zu gerathen, in welchem sie unvermögend sind, den Zuckung erregenden Vorgang einzuleiten und fortzupflanzen? Denn es durchfliesst sie ja derselbe Strom, welcher durch den Muskel strömt und obwohl auch sie nicht einmal durch den schwachen Strom in den lähmungsartigen Zustand gerathen, so schliesst Eckhard

Digitized by Google

doch daraus, dass also jener Zustand nicht dem Muskel, sondern dem Nerven angehöre. Hätte indessen Eckhard auch hier Lähmung beobachtet, so würde der Versuch doch nicht beweisen, was wir wünschen; weil ja eben auch die motorischen Nervenfasern des Muskels vom Strome mit getroffen werden und man deshalb nicht entscheiden kann, was auf Rechnung des einen und was auf die des anderen Organes kommen mag.

Eckhard versucht nun endlich bereits in seiner ersten soeben von uns besprochenen Arbeit die von ihm gewonnenen Erscheinungen in Verbindung zu setzen mit gewissen Thatsachen, welche Emil du Bois-Reymond mittlerweile in seinem Werke über thierische Electricität veröffentlicht hatte. Von Nobili war, wie wir erfahren haben, bereits behauptet worden, dass der constante Strom den Nerven in einen besonderen Zustand versetze, dessen Wesen ihm zwar im Speciellen unbekannt blieb, und der sich ihm dadurch aussprach, dass ein solcher Nerv die Reizung momentan nicht zu leiten vermochte. Du Bois-Reymond hatte nun selbstständig jenen wunderbaren Zustand auf einem ganz anderen Wege entdeckt, indem er am Multiplicator die electromotorischen Kräfte des Nerven und ihre Veränderungen unter verschiedenen Bedingungen untersuchte und so den uns wohlbekannten sogenannten electrotonischen Zustand des Nerven entdeckte. Wie natürlich musste Eckhard bedacht sein, den in das physiologische Bewusstsein nunmehr übergegangenen Thatsachen des Electrotonos und ihrer Theorie Rechnung zu tragen, obwohl er in diesem Bestreben wenig glücklich genannt werden kann, was freilich zum Theile darin seinen Grund haben darf, dass ihm die Thatsachen nur in einer unvollkommenen und zum Theile geradezu falschen Weise bekannt waren. Die Betrachtung, die Eckhard hier anstellt, ist folgende:

„Der galvanische Strom, wenn er eine Strecke des Nerven durchfliesst, erregt in demselben überall electrotonischen Zustand. Da dieser physiologisch die Bedeutung hat, dass allgemein ein Eintritt der Schwankung desselben in irgend welchem Sinne (falls sie nur hinlänglich gross ist) Zuckung bewirkt; so werden Oeffnen und Schliessen einer anderen

Kette, deren Strom den Nerven an einer beliebigen anderen Stelle durchfliesst, physiologisch wirksam sein, wenn sie eine hinreichend grosse Schwankung in dem durch die erste Kette hervorgerufenen und noch vorhandenen Electrotonus bewirken. Die nöthige Grösse dieser Schwankung und die hierzu erforderlichen Kräfte für jeden besonderen Fall numerisch anzugeben, liegt zur Zeit noch ausserhalb der Möglickkeit. Denn der Electrotonus ist eine noch nicht hinlänglich bekannte Function mannigfacher Umstände und ebenso ist unbekannt, wie die Zuckung abhängig ist von der Grösse der Schwankungen des electrotonischen Zustandes, je nachdem dieselbe zwischen verschieden grossen Ordinaten vor sich geht. Es darf nicht unerwähnt bleiben, dass die neuen Thatsachen, namentlich die unter der dritten Nummer mitgetheilten, mit der von du Bois-Reymond entwickelten, den electrotonischen Zustand betreffenden Vorstellungen in schönem Einklang (? Ref.) stehen. So ist gesagt worden, dass wenn Schliessung und Oeffnung einer schwächeren Kette durch eine constante stärkere unwirksam gemacht werden sollen, die letztere mehr Elemente haben müsse, wenn sie sich oberhalb der ersteren befindet, als wenn unterhalb. (Diese Thatsache ist allgemein genommen unrichtig. Ref.) Dies findet in dem Umstande seine Erklärung (?), dass die Curve des electromotorischen Zuwachses im electrotonischen Zustande zwischen den Electroden ein Maximum hat. Im ersteren Falle nun findet sich die schwächere Kette unterhalb dieses Maximums, woselbst sie nur noch Kräfte zu überwinden hat, welche entsprechend sind den Ordinaten jener Curve an dieser Stelle. Im anderen Falle dagegen hat die schwächere Kette das Maximum zwischen den Electroden der stärkeren Kette vor sich. Der in der That nicht unbeträchtliche Unterschied in beiden Fällen scheint ein ziemlich hohes Maximum zwischen den Electroden anzuzeigen (? Ref.). Beiläufig gesagt, liegt also hier eine die Ansicht unterstützende Thatsache, dass die Curve des Electrotonus zwischen den Electroden ein Maximum habe. (Unrichtiger Schluss. Ref.) Ferner scheint sich mir in ganz auffallender Weise der Umstand, dass der Muskel am sicher-

Digitized by Google

sten in Ruhe bleibt, wenn beide Ströme im Nerven aufsteigend sind, (die Thatsache ist falsch. Ref.) an die vorhandenen Vorstellungen über die Natur des electrotonischen Zustandes anzuknüpfen. (Warum? ist nicht entfernterweise zu begreifen. Ref.) Man möchte wohl zuerst daran denken, dass die aufsteigende Stromesrichtung im Allgemeinen die für das Zustandekommen der Zuckung ungünstigere sei, (was ein unrichtiger Gedanke wäre. Ref.) allein allem Anscheine nach dürfte die Differenz der Grösse der Zuckungen bei Schluss des absteigenden und Oeffnen des aufsteigenden Stromes, wenn letzteres mit derselben Schnelle wie ersteres ausgeführt wird, kaum erheblich sein. (Diese Differenz ist sehr erheblich. Ref.) Vielmehr ist hier daran zu denken, dass die beiden im Multiplicatorkreise als Ausdruck des electrotonischen Zustandes beobachteten Phasen von ungleicher Grösse zu Gunsten der positiven sind. Und in der That, ist der Strom im Nerven aufsteigend, so würde sich die nach dem Muskel hin befindliche Nervenhälfte in den Multiplicatorkreis geschaltet, in positiver Phase befinden."

Ich habe durch Zwischenbemerkungen den Leser stets auf die Fehler in den Eckhard'schen Betrachtungen hingewiesen und unterziehe mich nun der unerquicklichen Pflicht, die gegebene Darstellung einer genauen Kritik zu unterwerfen. Die Grundvorstellung, von welcher Eckhard ausgeht, ist die, dass die Leitung der Reizung im umgekehrten Verhältniss zur Grösse der Ordinaten der unmittelbar gereizten Stelle, sowie derjenigen, welche sich zwischen dieser und dem Muskel befinden, stehe, wenn der Nerv sich in dem electrotonischen Zustande befinde. Oder mit andern Worten: der electrotonisirte Nerv bietet auf einer gegebenen Stelle der Reizung und ihrer Fortpflanzung einen um so grösseren Leitungswiderstand dar, je stärker der electrotonische Zustand entwickelt ist. Dieser Leitungswiderstand müsste also zunehmen mit der Länge der leitenden Nervenstrecke, oder die Reizung müsste mit um so geringerer Stärke an dem Muskel anlangen, je weiter die gereizte Nervenstelle vom Muskel entfernt wäre. Da nun bei Eckhard's Versuchen die Reizung oberhalb des constanten

Stromes eine längere Strecke zu durchlaufen hatte, als die Reizung unterhalb, so musste die Reizung oberhalb mehr durch den constanten Strom geschwächt werden, wie die Reizung unterhalb. Der Schluss, den Eckhard hieraus auf ein zwischen den Electroden bestehendes Maximum der Curve der dipolar-electromotorischen Kräfte macht, ist offenbar durchaus falsch, indem aus seiner Grundvorstellung derselbe Erfolg des Versuches resultirt, auch wenn zwischen den Electroden ein Minimum oder wenn die dipolare Curve eine der Abscisse parallele Gerade wäre, da dann in Eckhard's Sinn doch immer die Leitung durch die längere electrotonisirte Strecke eben mehr Ordinaten zu überwinden hätte, als durch die kurze Strecke, und deshalb mehr durch erstere als letztere geschwächt würde. Das Schlimmste für Eckhard's Betrachtung ist nun aber, dass die Thatsachen, auf welche er sie gründet, falsch sind. Bei einer gewissen Stromstärke nämlich bewirkt Reizung mit einem aufsteigenden Strome oberhalb des aufsteigenden constanten Stromes stärkere Zuckungen, als im natürlichen Zustande, unterhalb des aufsteigenden mit einem aufsteigenden reizenden Strome schwächere, als im natürlichen Zustande, was ich später trotz Eckhard's hiergegen erhobener Bedenken dem Leser bis zum Ueberdruss beweisen werde. Eckhard beruft sich noch auf eine Thatsache aus dem Gebiete des Electrotonus, um die stärkere lähmende Wirkung des aufsteigenden Stromes zu erklären, derzufolge die zwischen dem constanten Strome und Muskel gelegenen Fasern in positiver Phase begriffen seien, der eine grössere Höhe der Ordinaten der dipolar-electromotorischen Kräfte entspricht, während bei absteigendem Strome dieselbe Strecke in negativer Phase befindlich ist, der niedrigere Ordinaten der dipolaren Curve angehören.

Eine Reizung oberhalb des aufsteigenden Stromes hat also im Allgemeinen höhere Ordinaten zu überwinden, als über einem absteigenden Strome. Wie ich bereits bemerkt habe, stehen die Thatsachen leider mit dieser Betrachtung nicht allein nicht im Einklang, sondern Eckhard hätte bereits bei genauerer Kenntniss der Lehre des Electrotonus

augenblicklich sehen müssen, dass seine Behauptung, weit entfernt, in schöner Uebereinstimmung zu sein mit dieser Lehre, ihr geradezu widerspricht, wie ich später zeigen will.

Wir wenden uns nunmehr zu der folgenden Arbeit Eckhard's über denselben Gegenstand. (S. Eckhard, Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Heft I. 1855. p. 25. Ueber den Einfluss des constanten galvanischen Stromes auf die Erregbarkeit des motorischen Nerven.)

Diese Versuche Eckhard's sind so angestellt, dass er die Polarisation der Electroden des constanten Stromes vermied, mit einem Inductionsschlag reizte, welcher dem constanten Strome stets gleichgerichtet war und sich zur Messung der Zuckung des von Helmholtz angegebenen Myographions bediente.

Die Methode, die Eckhard anwandte, um die Zuckungen stets gleich gross zu machen, bestand darin, dass er sich übte, die Entfernung der Centrifugalkugeln des Myographions zu schätzen, um dann bei einem gewissen Abstande derselben, also bei einer gewissen Geschwindigkeit der Schwungscheibe, von welcher die Geschwindigkeit der Oeffnung des primären Kreises abhängt, zu experimentiren. Wer indessen weiss, wie gross der Einfluss auf die Stärke des Inductionsstromes ausfällt bei einer selbst sehr geringen Differenz in der Geschwindigkeit, mit welcher in zwei auf einander folgenden Fällen der primäre Kreis geöffnet wird, der wird bekennen, dass diese Methode der Reizung so unzuverlässig ist, dass sie die Feinheit der Messung, welche das Myographion sonst zulässt, durchaus compensirt.

Eckhard bestätigt nun durch diese Versuche zunächst die uns bekannte Thatsache, dass ein mechanischer, chemischer oder electrischer Reiz unwirksam wird, wenn zwischen Reiz und Muskel ein beliebig gerichteter constanter Strom den Nerven in einer gegebenen Strecke durchfliesst. Wir werden später sehen, dass dieser Satz in dieser Fassung unrichtig ist. Sodann aber stellt sich Eckhard die Frage nach der grösseren oder geringeren lähmenden Kraft der verschiedenen Richtungen des constanten Stromes und kommt zu dem Ausspruche:

Digitized by Google

„Zahlreiche unter all' den vorher erörterten Vorsichtsmassregeln angestellte Versuche ergeben nun das Resultat, dass unter allen Umständen die aufsteigende Strömungsrichtung als die am meisten lähmende sich erweist. (S. Eckhard a. a. O. pag. 38.)

Auch diese Thatsache ist unrichtig, indem man ebenso gut das Gegentheil beobachten kann. Aber selbst unter den Bedingungen, welche sie zur Erscheinung bringen, beweist sie durchaus nicht, was Eckhard wünscht, und zwar aus folgendem Grunde: Dieser Forscher stellte den Versuch so an, dass er dem constanten Strome einmal die aufsteigende und einmal die absteigende Richtung im Nerven gab, während der Inductionsstrom stets die absteigende Richtung hatte. Eckhard experimentirte bei diesem Versuche mit einem ziemlich starken Strome, weshalb es nicht erlaubt war, die vom Electrotonus herrührenden Ströme zu vernachlässigen, um so mehr als die kleinen Frösche der Umgegend von Giessen bei der geringen Länge des Ischiadicus nicht eine ausreichende Entfernung der Electroden des reizenden Stromes von denen des constanten Stromes gestatten. Wie sehr dies begründet ist, beweist der Umstand, dass ich von dem Kniebeugentheil des Ischiadicus secundäre Zuckungen der Oberschenkelmuskel mit solchen Stromstärken erhalten habe, welche nothwendig sind, jenen Versuch im Eckhard'schen Sinne ausfallen zu lassen. Wenn also in dem einen Versuche die beiden Ströme, der reizende wie der constante, gleichgerichtet im Nerven waren, erhob sich die Curve des Inductionsstromes, dessen Stärke wir als Function der Zeit auffassen, von irgend einer positiven Ordinate von demselben Zeichen mit denen des Inductionsstromes, um alsbald wieder zu dieser Ordinate zurückzukehren. Wenn aber beide Ströme die entgegengesetzte Richtung hatten, so fand eine Stromesumkehr im Nerven statt und der Inductionsstrom stieg nicht bis zu derselben Höhe wie früher an. Denn ehe der Inductionsstrom entsteht, kreist ja schon durch die secundäre Spirale und also auch durch den Nerven der Strom des Electrotonus. In dem einen Falle, wo also beide Ströme absteigend sind,

entsteht in einem bereits (von dem Strome des Electrotonus) absteigend durchströmten Nerven plötzlich eine positive Schwankung dieses absteigenden Stromes, der sich dann eine negative anschliesst, um zu dem früheren Werthe zurückzukehren. In dem anderen Falle entsteht in einem aufsteigend durchströmten Nerven erst eine negative, bis Null gehende Schwankung dieses aufsteigenden Stromes, dann eine Schwankung eines absteigenden, die nach Null zurückgeht, um noch einen abermaligen Stromeswechsel herbeizuführen. Wer vermag nun zu entscheiden, ob die verschiedene Grösse der Reizung zu suchen ist in jenem durch den constanten Strom herbeigeführten Zustande oder in der total verschiedenen Gestalt der Curven der beiden Stromschwankungen, welche die Reizung in beiden Fällen ausführten. Es wäre denkbar, dass die lähmende Kraft beider Ströme dieselbe wäre, und die verschiedene Grösse der Reizung nur abhinge von der durchaus verschiedenen Art, diese zu bewirken. Ich muss hier mit Nachdruck daran erinnern, dass das Vernachlässigen kleiner Grössen ein an sich durchaus unzulässiges Verfahren ist und nur dann erst gerechtfertigt sein kann, wenn der aus der Vernachlässigung entspringende Fehler bekannt ist. Hier aber haben wir es mit einem Mechanismus von der grössten Zartheit zu thun, den die leisesten Spuren eines Stromes verändern bald in dieser, bald in jener Weise. Dies Alles muss hier jedoch darum in erhöhtem Maasse berücksichtigt werden, weil die vernachlässigten Ströme ihrer Grösse nach fast sicher von einerlei Ordnung waren mit den schwachen Inductionsströmen, welche ja meist noch nicht einmal das Maximum der Zuckung bewirken durften. Denn der Strom des Electrotonus erzeugt ja bekanntlich leicht sogar kräftige Zuckungen. Es scheint, als ob die chemische Reizung vielleicht eher diese Frage zu lösen im Stande sein werde. Aber leider ist dies, wie ich später zeigen werde, mit neuen, fast unübersteiglichen Schwierigkeiten verknüpft.

Eckhard geht sodann über zur Erforschung der Erregbarkeit zwischen constantem Strome und Muskel. Hier bestätigt nun Eckhard zunächst die Valentin'sche Behauptung, dass nur dem aufsteigenden Strome die Eigenschaft zukomme,

Digitized by Google

die Nerven zwischen positiver Electrode und Muskel in einen Zustand herabgesetzter Erregbarkeit zu versetzen, der absteigende Strom aber zwischen negativer Electrode und Muskel einen Zustand erhöhter Erregbarkeit hervorbringe. Letztere Thatsache ist von Eckhard selbstständig entdeckt und gehört ihm eigenthümlich zu, obschon er dieselbe nicht bewiesen hat.

Ausser den Thatsachen, deren mangelnde Beweiskraft Eckhard selber zugesteht, beruft er sich auf folgende Beweise:

„Ich komme zu dem bereits erwähnten Kochsalzversuch zurück und füge noch hinzu, dass jeder durch Kochsalz erzeugte Tetanus augenscheinlich stärker hereinbricht, wenn oberhalb der gereizten Stelle ein constanter Strom absteigend fliessend hergestellt wird. Ja noch mehr. Es ist mir nicht selten begegnet, dass, wenn ein in Kochsalzlösung getauchter Nerv zögerte, seinen Muskel in die dieser Reizungsart eigenthümliche Form des Tetanus zu versetzen, dies auf der Stelle geschah, wenn ich die Kette schloss, von deren Constanz ich mich, wie oben angegeben, überzeugte. Ich warne hier vor der Meinung, dass diese Zuckungen herrühren möchten von dem Ausgleichen der electrischen Differenzen der verschiedenen Punkte des Nerven in Folge des hergestellten Electrotonus; denn dadurch würde kein Tetanus während des Geschlossenseins derKette entstehen."

Die Warnung Eckhard's ist in sofern nicht am Platze, als doch zu bedenken ist, dass die Kochsalzlösung ausser ihrer Wirkung als Nebenschliessung für den Strom des Electrotonus ja auch die electromotorischen Moleküle zerstört, also eine fortwährende Schwankung der electromotorischen Kräfte bedingt. Bei gleichbleibendem Widerstand und schwankender electromotorischer Kraft sind aber Stromschwankungen gegeben, welche den Nerven erregen können.

„Zu diesen mehr oder weniger Wahrscheinlichkeitsbeweisen," fährt Eckhard fort, „fügen sich endlich die folgenden Versuche als strenge Beweise hinzu. Wir erregen vorerst durch einen absteigenden Inductionsstrom hintereinander zwei Zuckungen und lassen dieselben am Myographion verzeichnen, nur mit dem Unterschiede, dass, während die zweite ausgeführt wird, ein con-

stanter Strom oberhalb der gereizten Stelle absteigend fliesst, dass dagegen während der Erzeugung der ersten ein solcher fehlt. Die zweite Curve fällt dann immer höher aus.“ (S. Eckhard a. a. O. pag. 42.)

Gegen diesen „strengen“ Beweis habe ich Folgendes einzuwenden. Es ist der Nerv bereits vor der Reizung von dem durch den constanten Strom herbeigeführten Strom des Electrotonus durchflossen, weshalb diese Strecke durch ihren eigenen Strom ihre Erregbarkeit unmittelbar verändert. Rührt nun die beobachtete Veränderung her von dem primären constanten Strome, oder entsteht sie erst durch Anlegung des ableitenden Bogens? Ich gebe zu, dass dieser Einwand freilich schwer zu widerlegen sein dürfte; doch gleichwohl müssen wir an ihn denken.

Eckhard denkt zwar an diesen Einwand, fertigt denselben aber ab, indem er sagt: „Dass wirklich die vom Electrotonus herrührenden Ströme das gemeldete Resultat nicht herbeigeführt haben, wird dadurch bewiesen, dass sonst, den unter A. erwähnten Thatsachen gemäss, die mit Beihülfe des constanten Stromes geschriebene Curve hätte niedriger ausfallen müssen, als die andere.“ Diese Widerlegung ist nun darum nicht stichhaltig, weil, wie ich zeigen werde, die A-Versuche Eckhard's unrichtig sind und allerdings aus den Strömen des Electrotonus gerade der Erfolg zu erwarten steht, welcher beobachtet wurde. Eckhard hat also seine Behauptung nicht erwiesen.

Wir werden hiermit naturgemäss zu der Frage geführt, welche Erregbarkeitsveränderung in der unmittelbar durchflossenen Strecke Platz greife. Der Erste, welcher dieser Frage seine specielle Aufmerksamkeit zuwandte, ist du Bois-Reymond, indem er die Aufgabe stellt, den Einfluss zu erforschen der absoluten Grösse der Ordinaten, zwischen denen eine electrische Stromesschwankung vor sich geht, auf die Grösse der durch diese Schwankung bewirkten Gesammterregung der Bewegungs- sowohl, als der Empfindungsnerven, also den Einfluss der Constanten C, wenn man setze:

$$\Delta = f(t) + C,$$

wo Δ, die Stromesdichte, aufgefasst ist als Function der Zeit. Es handelt sich hier nicht um die Erregung durch den Strom in beständiger Grösse, sondern um diejenige Erregung, welche Anfang und Ende des Stromes, Schwankungen seiner Dichtigkeitscurve in dem Nerven begleitet. „Es fragt sich mit einem Worte: Ist zu setzen:

$$d\eta = F\left(\Delta, \frac{d\Delta}{dt}\right) dt,$$

und falls dies ist, wächst F bei beständigem $\frac{d\Delta}{dt}$ mit Δ, oder nimmt sie ab?“ Es bezeichnet $d\eta$ hier die innerhalb des Zeitincrementes dt stattfindende Differentialerregung, welche abhängig gedacht wird einmal von der zu irgend einem Werth von t gehörigen Grösse der Tangente der Dichtigkeitscurve und sodann von der zur Abscisse t gehörigen Ordinate Δ.

Du Bois-Reymond findet es nun bis zu einem gewissen Grade wahrscheinlich, dass „die Erregung um so kleiner ausfalle, je beträchtlicher bereits die im Nervenquerschnitt bestehende Dichtigkeit sei. Ich werde nämlich zeigen, dass die beständige Einwirkung des Stromes auf den Nerven eine ebenso beständige Veränderung seiner electrischen Zustände herbeiführt, die um so grösser ist, je grösser die Dichtigkeit des Stromes ist, jedoch mit grosser Schnelle dem natürlichen Zustande Platz macht, so wie der Strom unterbrochen wird. Es wird alsdann mit grosser Wahrscheinlichkeit hervorgehen, dass es der Uebergang des Nerven in diesen veränderten Zustand und umgekehrt das Zurücktreten aus demselben in den natürlichen ist, von dem jene andere, den Eintritt und das Ende des Stromes, wie auch die Schwankungen seiner sonst beständigen Grösse begleitende unten gleichfalls nachzuweisende besondere Veränderung des Nerven abhängt, die als das äussere Anzeichen der Fortpflanzung des sogenannten Nervenprincips, als die Vermittlerin also des Theiles der physiologischen Wirkungen, der von den Stromesschwankungen herrührt, angesprochen werden wird. Nun scheint es natürlich, anzunehmen, dass, je weiter diese Veränderung des Nerven bereits gediehen ist, aus der er mit so grosser Elasticität

nach dem gewöhnlichen Zustande zurückstrebt, um so grössere Veränderungen der Stromesdichte nothwendig werden, um das Gleichgewicht noch mehr zu verrücken. Freilich wäre es auch denkbar, dass bei der grösseren Spannung, unter welcher jetzt die kleinere Veränderung vor sich geht, diese mit gleicher oder grösserer Kraft die Gleichgewichtszustände des Nerven erschütternd wirkte, wie eine grössere Veränderung bei kleinerer Spannung; gleichwie ein weiteres Anziehen der Sehne eines gespannten Bogens um ein Stück des Pfeiles = a einer grösseren Summe beschleunigender Kräfte, welche nachmals auf denselben wirken, vorstellen kann, als ein Anziehen um eine Strecke na, wenn die Sehne noch fast erschlafft ist."

Diese Betrachtung du Bois-Reymond's lässt in der That die Frage unentschieden. — Bemerkenswerth ist nur, dass dieselbe auf der zunächst allerdings plausibelsten Voraussetzung fusst, dass in der durchströmten Strecke des Nerven die Querschnitte gleicher Stromdichte in nahezu demselben Zustande sich befinden möchten. Die ursprüngliche Beobachtung Nobili's, der zufolge Froschschenkel, welche aus unbekannter Ursache in Tetanus verfielen, sich augenblicklich beruhigten, wenn man einen Strom durch sie hindurchschickt, scheinen auf die erste Annahme du Bois-Reymond hinzudeuten. Ebenso jener Versuch Matteucci's, welcher von uns bereits im Eingange citirt worden ist.

Derjenige, welcher darauf die Frage discutirt und experimentell beleuchtet hat, ist Eckhard. Obwohl nun du Bois-Reymond nach seiner Discussion (S. du Bois-Reymond. Bd. I. p. 295.) mit Recht erklärt, dass diese Frage bis auf Weiteres unentschieden bleiben muss, behauptet doch Eckhard (S. Eckhard, Beiträge. Heft I. p. 28), du Bois-Reymond bereits habe mit Hülfe der den Electrotonus betreffenden Thatsachen bis zu einem hohen Grade wahrscheinlich gemacht, dass mit Zunahme der absoluten Höhe der Ordinaten, zwischen welchen ein und dieselbe electrische Dichtigkeitsschwankung vor sich geht, die Anregung zur Bewegung abnimmt.

Der Versuch, welchen Eckhard nun zur experimentellen

Bestätigung dieses Satzes angestellt hat, ist folgender: „Wir nehmen,“ sagt Eckhard (S. Eckhard, a. a. O. p. 28), „in den secundären Kreis einer Inductionsvorrichtung den Nerven und ausser ihm noch eine mehrgliedrige Kette mit einer geraden Anzahl von Gliedern auf. Zuerst ordnen wir nun die letztern so, dass sich ihre Wirkungen gegenseitig zerstören. Dann fliesst durch die Nerven entweder kein oder nur ein höchst unbedeutender Strom, und wenn jetzt der Inductionsstrom, dessen Richtung auf irgend eine Weise vorher ausgemittelt sein muss, den Nerven durchfährt, kann die Schwankung der Dichtigkeit als von der Ordinate Null ausgehend angesehen werden. Hierauf ordnen wir jene so, dass sie sich gegenseitig unterstützen und ihren Strom in derselben Richtung durch den Nerven senden, wie der jetzt wieder anzuwendende Inductionsstrom. Nun nimmt aber die electrische Schwankung ihren Ausgang von der Höhe der bereits im Nerven vorhandenen Stromdichte und die Zuckung fällt schwächer aus als zuvor oder verschwindet unter günstig gewählten Umständen gänzlich. Ich will nicht unerwähnt lassen, dass dem Versuch ein kleiner Mangel anklebt, welcher jedoch der Richtigkeit des erlangten Resultates keinen Eintrag thut, sondern im Gegentheil so einwirkt, dass dasselbe um so sicherer wird. Bei der ersten Anordnung nämlich wird der Widerstand des Inductionsstromes streng genommen nicht gleich sein dem der zweiten; theils wegen einer kleinen Aenderung der mechanischen Zusammenfügung der Kette; theils weil der Inductionsstrom in derjenigen Hälfte der Glieder, welche ihren Strom in der jenem entgegengesetzten Richtung zu schicken streben, Polarisation erzeugt. Indess bei dem bereits im Kreise befindlichen grossen Widerstande wird wohl die dadurch bedingte Aenderung seiner Grösse unmerklich sein; noch mehr, er wird dadurch nur eine Schwächung erleiden können, und so würde denn der schwächere eine grössere Anregung zur Bewegung zur Folge haben, als der stärkere.“ Hier lernt man also von ihm, „dem Electriker und Physiker“, dass die galvanische Polarisation den Strom schwächt, **weil** sie den **Widerstand** des Kreises verändert.

Digitized by Google

Aber abgesehen hiervon beweist Eckhard's Versuch durchaus nicht, was er soll. Denken wir uns die Erregbarkeit, als Function der Stromstärke aufgefasst, gestalte sich so, dass sie zuerst nicht abnimmt, sondern ansteigt, dann ein Maximum erreicht, um sodann wiederum abzunehmen und sich bei weiter wachsender Stromstärke asymptotisch irgend einem noch unbekannten Werthe anzuschliessen. Diese Function würde demnach genau so sich verhalten, wie die Stärke der Schliessungszuckung ebenfalls als Function der Stärke des aufsteigenden Stromes sich darstellt. Ich habe aber gefunden, dass Ströme, welche längst keine Zuckung mehr bewirken, dennoch die Erregbarkeit in beträchtlichem Grade verändern. Zwei Zinkelectroden geben aber bekanntlich sehr leicht Zuckung wegen Ungleichartigkeit, wenn sie metallisch verbunden werden. Es ist mir deshalb unzweifelhaft, dass der Nerv in Eckhard's Versuch von einem ausreichend starken Differentialstrom durchflossen war, um Veränderungen der Erregbarkeit darzubieten, und zwar Erhöhung der Erregbarkeit.

Wie, wenn nun der stärkere Strom die Erregbarkeit gar nicht verändert hätte, während der schwache Differentialstrom sie erhöhte? — Unzweifelhaft wäre auch hiermit der Versuch erklärt — und wie der Leser später einsehen wird, ist es sogar sehr möglich, dass diese Erklärung des Versuches die richtige war. Diese Methode Eckhard's ist demnach durchaus verwerflich. Er variirt indessen die Methode noch in einem zweiten Versuche so zwar, dass sie von dem gerügten Fehler frei ist. „Doch", sagt Eckhard, „um dem Versuche ein mehr methodisches Ansehen zu geben, habe ich denselben noch auf eine andere Weise angestellt. Ich habe nämlich die Summe der Widerstände mehrerer Daniell'scher Elemente mit Hülfe des Stromregulators bestimmt und den ersten der beiden Zuckungsversuche bei Abwesenheit der Kette, aber mit Einschluss des ihr gleichen Widerstandes, welchem ich der Sicherheit halber noch einen überschüssigen Theil hinzufügte, ausgeführt. Das Resultat blieb dasselbe."

Gegen diesen Versuch habe ich einzuwenden, dass Eckhard sich zu überzeugen versäumt hat von der Gleichartig-

Digitized by Google

keit seiner Electroden mit Hülfe des Multiplicators, wie ich es nie bei meinen Versuchen unterlassen habe, darum nämlich, weil ich gefunden habe, dass sogar der Nervenstrom bereits ausreicht, um beträchtliche Veränderungen der Erregbarkeit herbeizuführen. Es trifft also diesen Versuch ein ähnlicher Einwand, wie der vorige. Giebt man indessen auch zu, wofür man gar keine Sicherheit hat, dass die Electroden gleichartig waren, dass ferner die Bestimmung mit Hülfe des Rheostaten richtig ausgeführt war, so bleibt noch ein Einwurf übrig, welcher der schlimmste ist, der einem Versuche gemacht werden kann, nämlich der der allgemeinen Unrichtigkeit des Resultats. Man kann bei diesem Versuche nämlich je nach der Methode der Anstellung, welche aber von den von Eckhard angegebenen Bedingungen um Nichts abweicht, bald Erhöhung der Erregbarkeit wahrnehmen, bald Verminderung, weshalb wir, den Eckhard'schen Versuchen, in Anbetracht ihrer anderweitigen Mängel, jeden Werth absprechen müssen, da es noch nicht einmal sicher ist, dass unter seinen Bedingungen die gemachte Beobachtung exact war.

Es bleibt uns endlich noch die Kritik derjenigen von Eckhard aufgestellten Untersuchungen, welche er zur „Verwerthung der von ihm gewonnenen Thatsachen" angestellt hat.

Er glaubte erkannt zu haben, dass sich mit Hülfe derselben die Frage nach der Irritabilität der quergestreiften Muskelfasern lösen lasse. Ich habe mich bereits anderweitig gegen das von Eckhard hierüber Vorgebrachte erklärt; da aber Eckhard selbst die fraglichen Betrachtungen noch nicht als irrig zurückgenommen und meiner Widerlegung noch nicht ganz allgemein von den Fachgenossen beigestimmt zu werden scheint, so will ich diesen so äusserst wichtigen Punkt hier einer strengen und wie ich glaube bindenden Kritik unterwerfen. Nachdem Eckhard über dasjenige, was vor ihm über Irritabilität geschrieben, sich „überheben" zu können erklärt (S. Eckhard, a. a. O. p. 46), geht er nun zunächst auf eine Besprechung der schönen Entdeckung Bernard's über die Wirkung des Curara ein, indem er mit einer Reihe unrichtiger Einwände gegen

Digitized by Google

dasselbe zu Felde zieht. Die Betrachtung Eckhard's ist folgende:

„Er (Bernard) schlitzt die Haut auf dem Rücken eines Frosches, bringt in die Wunde einen Theil des Giftes und zeigt dann an dem nach Verlauf von 4—5 Minuten gestorbenen Thiere, dass Reizung seiner Nervenstämme keine Zuckungen, die der Muskelsubstanz dagegen solche auslöst. Von der Richtigkeit dieses Experimentes habe ich mich durch die Güte des Herrn Bernard bei meiner Anwesenheit in Paris durch den Augenschein überzeugt; aber ich kann das gedachte Experiment nicht als die Existenz der Muskelirritabilität beweisend anerkennen, selbst nicht auf die Bemerkung Bernard's hin, dass die Muskeln von auf anderer Weise vergifteten Fröschen ihre Reizbarkeit für gewöhnlich früher einbüssen, als solche, welche mit Curara vergifteten entnommen sind. Denn es ist denkbar, dass das durch Aufsaugung dem Blute zugeführte Gift innerhalb der Muskelsubstanz viel langsamer oder gar nicht die Gefässwände durchsetzt und die Nervenfasern angreift als an denjenigen Stellen, wo die grösseren Nervenstämme verlaufen, oder dass, da das Gift mit besonderer Vorliebe auf das Nervensystem wirkt; gar bald die Herzganglien lähmt, und nun das Herz das Blut gar nicht mehr durch das Capillarsystem des Muskels hindurchtreibt, abgesehen von anderen Annahmen, welche etwa hier noch zu machen wären."

Beide Einwände Eckhard's sind aber nicht stichhaltig; denn es ist lange bekannt, dass gerade wunderbarer Weise das Curara wenig oder gar nicht auf das Herz einzuwirken scheint, indem dieses noch ungestört weiter pulsirt, wenn längst die Reizung der Nervenstämme keine Zuckungen mehr erzeugt.

Durch die Entdeckungen von Kölliker und Bernard hat sich ferner ergeben, dass das Gift gerade umgekehrt besonders auf die intramuskularen, weniger auf die extramuskularen Fasern einwirkt. Denn wenn von dem Muskel nur das vergiftete Blut abgehalten wird, so erhält man von dem von diesem Blut umspülten Nervenstamme Contractionen in dem

Digitized by Google

Muskel, der nicht von dem vergifteten Blute berührt worden ist, woraus also folgt, dass von einer besonderen Wirkung des Giftes auf die Stämme und einer verschwindenden auf die intramuskularen Fasern keine Rede sein kann. Jetzt nehmen ja bekanntlich die Physiologen die Sache gerade umgekehrt. Sie statuiren eine mächtige Wirkung des Giftes auf die intramuskularen Fasern und eine geringere auf die Stämme. Somit fallen Eckhard's Einwände durchaus.

Gleichwohl möchte ich aus dem Experimente auch nicht die Irritabilität ableiten wollen. Ausser dem Einwande, dass die letzten Nervenenden, deren Function eine eigenthümliche ist und darin besteht, die Erregung auf die Muskelsubstanz zu übertragen, vom Gifte weniger oder nicht afficirt werden, kann man sich vorstellen, dass das Gift auf die letzten Endigungen ebenso schädlich wie auf die anderen intramuskularen Fasern einwirke und darum die Leitung der Reizung beträchtlich beeinträchtigt werde. Reizt man nun einen Stamm, so muss sich die Reizung durch eine lange Nervenstrecke fortpflanzen, deren Leitungswiderstand so gross ist, dass sie noch eher erlischt, als sie an dem Muskel anlangt. Denn mit der Länge muss ja dieser Leitungswiderstand zunehmen. Führt man aber den Strom unmittelbar durch den Muskel, so erregt er wirklich die letzte Endigung, sodass die Reizung die kleinstmögliche Schwächung durch Fortpflanzung erleidet, also noch kräftig genug am Muskel anlangt, um denselben zur Zuckung zu bestimmen. Mir scheint diese Auffassung nicht so unwahrscheinlich; weshalb es entschieden verwerflich ist, die Irritabilität nunmehr als eine ausgemachte Sache anzusehen.

Eckhard macht auf Grund seines Experimentes den umgekehrten Fehler, obschon unzweifelhaft seine Versuche geringeren Werth für die Frage haben, als das Experiment Bernard's.

„Das Experiment nun", sagt Eckhard, „zufolge dessen ich mich als Gegner der Haller'schen Irritabilitätslehre erklären muss, besteht in Folgendem. An den mit seinem Nerven vom Froschkörper getrennten Musculus gastroknemius

werden die Electroden einer einfachen Kette gelegt, deren Strom man je nach der Empfindlichkeit des Präparates so modificirt, dass Schliessung und Oeffnung derselben eine nicht allzustarke, doch hinlänglich deutliche Zuckung bewirken. Hierauf leitet man durch eine nahe der Eintrittsstelle des Nerven in den Muskel gelegene Nervenstrecke den constanten Strom einer aus 6 — 7 Daniell'schen Elementen bestehenden Kette und stellt auf diese Weise den jetzt vielfach besprochenen Lähmungszustand bis in die feinsten Verzweigungen der Nerven innerhalb der Muskelsubstanz her. Versucht man jetzt wieder den Muskel durch die betreffende Kette zu reizen, so wird man sehen, vorausgesetzt, dass die lähmende Kette bezüglich der reizenden hinlänglich stark genommen wurde, dass die Zuckungen ausbleiben. Sie erscheinen auf der Stelle wieder, wenn die lähmende Kette geöffnet wird. Bisweilen bleiben bei geschlossener lähmender Kette beim Schliessen der reizenden, namentlich dann, wenn jede Electrode den Muskel nur in einem Punkte berührt, äusserst schwache Zuckungen einzelner Bündel in der unmittelbaren Nähe der Electroden zurück, wohl ohne Zweifel deshalb, weil an diesen Stellen die Stromdichte im Muskel grösser ausfällt, als an den übrigen.

Wer glaubt, dass zur Unantastbarkeit des Versuchs gehöre, dass auch die kleinste Muskelfaser in absoluter Ruhe bleibe, der lasse die Electroden der reizenden Kette den Muskel nicht in Punkten, sondern in Flächen berühren und gebe, wenn die in Rede stehende Erscheinung sich zeigen sollte, der lähmenden Kette eine grössere Stromstärke. Uebrigens sorge man dafür, das die Electroden der letzteren nicht die Muskelsubstanz selber berühren, weil man dann Gefahr laufen könnte, wegen der beide electrische Kreise verbindenden dickeren und besser leitenden Muskelsubstanz durch den Uebertritt von Stromesantheilen ans dem einen in den anderen Kreis gestört zu werden. Reizt man den Muskel chemisch, so ist der Erfolg sehr unsicher, aber wohl deshalb nur, weil durch diese Art zu reizen sehr leicht (?) die Continuität der Ner-

venverzweigungen innerhalb der Muskelsubstanz unterbrochen wird."

Beleuchten wir nunmehr die Beweiskraft des Eckhard'-schen Versuchs, so ist der erste Einwand gerichtet gegen die möglicherweise verschiedene Grösse der Ströme in beiden Versuchen, so zwar, dass der Strom schwächer war, wenn keine oder schwache Zuckung erfolgte, stärker, wenn das Umgekehrte stattfand, darum nämlich, weil während des Vorhandenseins der starken Kette der vom Electrotonus der intramuskularen Fasern erzeugte Strom sich zu dem der reizenden Kette hinzuaddirte und denselben entweder verstärkte oder schwächte. Eckhard behauptet zwar, dass man darum nicht durch diese vom Electrotonus herrührenden Ströme in die Irre geführt werden könne, weil, wenn diese Ströme in Betracht kämen, es nur in der Weise sei, dass jede Reizung während des Schlusses der Kette grösser ausfalle als zuvor. (S. Eckhard a. a. O. p. 49.) Eckhard behauptet demnach, dass der vom Electrotonus herrührende Strom stets von einerlei Zeichen mit dem Strome der reizenden Kette sei, wofür man aber jede Begründung vermisst. Denn die intramuskularen Fasern laufen ja durchaus nach den verschiedensten Richtungen auseinander und erfüllen den Muskel, welcher als Nebenschliessung für den Strom des Electrotonus dient, mit dem complicirtesten System von Strömungscurven, zu welchen sich noch die von den electromotorischen Kräften des Muskels herrührenden Ströme hinzugesellen. Es erscheint demnach a priori kaum oder nicht möglich zu sagen, welches die Richtung des von der säulenartigen Polarisation herrührenden Stromes in einem gleichartigen Bogen sei, welcher dem Muskel auf zwei beliebigen Punkten aufgesetzt wird, weshalb wir nunmehr zu der Behauptung berechtigt sind, dass in dem Eckhard'schen Versuche möglicherweise die Reizung schwächer war, als ein schwächerer Erfolg beobachtet wurde. Bereits aus diesem Grunde wäre der Versuch so nicht beweisend.

Eckhard diskutirt sodann einen zweiten Einwand, der seinem Versuche möglicherweise gemacht werden könnte, ja sogar gemacht worden ist. Man könnte sich nämlich vor-

Digitized by Google

stellen," meint Eckhard, „dass die lähmende Wirkung des constanten Stromes nicht ein in dem Molekularzustand des Nerven sich entwickelnder Vorgang sei, sondern in einem von den Nerven aus in der Muskelsubstanz erzeugter Zustand der Unbeweglichkeit ihrer kleinsten Theilchen bestehe, sodass die während des Schlusses der lähmenden Kette auf den Muskel ausgeübten Reize diesen nicht mehr in dem ihm ursprünglich eigenen Zustand, sondern in einem ihm fremden Molekularzustand vorfänden. Zuvörderst überlege man, was die Folge einer solchen Annahme sein würde. Es würden dann sämmtliche, jeweilig vorhandene Zustände der Muskelsubstanz von den jedesmal im Nerven herrschenden Zuständen abhängig gedacht werden müssen; es würde dann von besonderen Eigenschaften derselben, wenigstens in Betreff der Contractilität, keine Rede mehr sein und folglich die Frage nach der eigenthümlichen Muskelirritabilität gar nicht mehr vorgelegt werden könne."

In dieser Betrachtung Eckhard's liegt eine Reihe logischer Fehler klar zu Tage. Weil ein ganz besonderer nur durch den aufsteigenden electrischen Strom hervorzubringender Zustand des Nerven möglicherweise auch einen veränderten Molecularzustand des Muskels herbeiführt, so soll nach Eckhard überhaupt jeder beliebige Zustand des Nerven mit einem veränderten Molecularzustand des Muskels verknüpft sein müssen. Zu diesem Schlusse liegt gar keine Nothwendigkeit vor; denn was ein ganz besonderer eigenthümlicher Zustand zu leisten im Stande ist, das braucht doch nicht für jeden beliebigen anderen Zustand auch noch stattzufinden. Oder der eine Zustand kann etwas hervorbringen, was ein anderer nicht vermag. Wird man aber auch diesen Schluss Eckhard's zulassen, so müsste man doch die andere Folgerung, die er macht, als unzulässig zurückweisen.

Wenn nämlich, so meint Eckhard, die jeweilige Lage der Muskelmoleküle abhängig ist von der Lage der Moleküle des mit ihm verknüpften Nerven, so ist die Frage nach einer Irritabilität ein Absurdum.

Diese Argumentation enthält einen leicht zu übersehenden

Digitized by Google

Trugschluss. Der Kernpunkt der Irritabilitätsfrage concentrirt sich in dem Satze: Kann durch einen die Muskelsubstanz treffenden Reiz diese zur Zusammenziehung veranlasst, oder kann diese Zusammenziehung einzig und allein und nur durch die Reizung der Nerven hervorgebracht werden? Oder wenn man im Sinne der Eckhardt'schen Betrachtung redet, so würde man sagen müssen: Können die Muskelmoleküle, deren Coordinaten abhängig sind von den Coordinaten der Nervenmoleküle, auch noch durch andere Kräfte zu Veränderungen ihrer Lage bestimmt werden, als durch diejenigen, welche die Nervenmoleküle theils direkt, theils indirekt auf sie ausüben? — Die einfache Antwort lautet: Warum nicht? Daraus, dass der Werth einer Function von einer gegebenen Zahl von Variabelen abhängt, folgt doch nicht, dass diese Function nicht auch noch von anderen Variabelen abhängig sein könne. Aber es liegt ja ein Beispiel sehr nahe, welches unmittelbar die Eckhard'sche Betrachtung widerlegt. Der motorische Nerv besitzt Irritabilität; ihn vermag nicht das Sensorium allein in den Zustand der Reizung überzuführen. Die Lehre vom Electrotonus zeigt aber, dass hier in der That bei diesem Zustande die jeweilige Lage der Moleküle in einem gegebenen Querschnitte abhängig zu denken ist von der jeweiligen Lage aller übrigen Moleküle des Nerven. Untersucht man nun die Irritabilität einer gegebenen Stelle des electrotonisirten Nerven, so dürfte diese nicht reizbar sein, denn die Lage der Moleküle in ihr hängt ja von jener anderer Moleküle ab, deren Irritabilität wir jetzt nicht betrachten. Aber wir wissen, die betrachtete Stelle besitzt, wenn sie vor dem Strome gelegen ist, eine grosse ihr eigenthümliche Reizbarkeit; die Lage der Moleküle vermag also auch noch durch andere Einflüsse als die von den gleichartigen Atomen ausgehenden abgeändert zu werden. —

Eckhard schickt sich dann an, zu beweisen, dass der gedachte Lähmungszustand einzig und allein dem Nerven angehören muss, dass also seiner Ansicht gemäss die Frage nach der Irritabilität immer noch vorgelegt werden kann.

Digitized by Google

„Schon früher, sowohl in dem oft citirten Aufsatz in Henle's Zeitschrift, als auch in meiner Nervenphysiologie, habe ich mitgetheilt, dass bei derselben Richtung des lähmenden Stromes dieser je nach der Stellung seiner Electroden am Nerven in Bezug auf die gereizte Stelle eine verschiedene Stärke haben muss, um denselben Grad der Lähmung herzustellen; er muss nämlich, um dieselben Schwankungen der reizenden Kette unwirksam zu machen, stärker sein, wenn er unterhalb, als wenn er oberhalb der gereizten Stelle den Nerven durchfliesst. Da nun in beiden Anordnungen die Stellung der lähmenden Kette zur Muskelsubstanz dieselbe ist, so kann jene Eigenthümlichkeit nur in Zuständen der Nerven begründet sein." (S. Eckhard, Beiträge. Heft I. p. 49.)

Auch diese Beweisführung Eckhard's ist durchaus unzureichend. Abgesehen davon, dass die Thatsache, von welcher er ausgeht, wie ich schon mehrmals hervorgehoben, allgemein unrichtig ist und vielleicht nur unter einer bestimmten Bedingung beobachtet werden kann, darf man aus derselben doch nur schliessen, dass ein solcher Zustand herabgesetzter Erregbarkeit im Nerven durch den Strom hervorgebracht wird. Folgt denn aber daraus, dass dieser Zustand in dem Nerven erzeugt werden kann, die Unmöglichkeit, der Muskel sei eines ähnlichen Zustandes fähig? Eckhard hätte nur sagen können: die Nachweisung des Zustandes im Nerven erklärt bereits die Erscheinungen, ohne dass man noch auf etwaige Veränderungen des Muskels einzugehen braucht. Nichts destoweniger ist hierdurch aber nicht erwiesen, dass nun in der That solche Veränderungen der Molekularconstitution des Muskels gar nicht vorhanden sei. Eckhard fährt in seiner Beweisführung darauf fort:

„Viel wichtiger jedoch und augenscheinlicher ist die Thatsache, dass der absteigend im Nerven fliessende Strom, und wahrscheinlich auch der aufsteigende, nach verschiedenen Seiten der negativen Electrode hin entgegengesetzte Erregungszustände im Nerven hervorruft, aufwärts Erhöhung, abwärts Verminderung der Erregbarkeit. Wie wäre es hiernach auch nur im Entferntesten möglich, den durch den Strom hervor-

Digitized by Google

gerufenen Lähmungszustand noch von einem Molekularzustand des Muskels abhängig zu machen."

Wie man sieht, begeht Eckhard hier denselben Fehler wie vorher. Nachdem er erwiesen hat, dass ein Zustand veränderter Erregbarkeit durch den Strom dem Nerven zukomme, folgert er, dass dieser Zustand also nicht dem Muskel zukomme. Warum denn nicht? — Er könnte ja beiden gleichzeitig zukommen. Es könnte sich ja ganz gut — wenigstens ist dies denkbar — ein Zustand verminderter Erregbarkeit vom Nerven auf die Muskelsubstanz fortpflanzen bei aufsteigendem Strome, und umgekehrt ein Zustand vermehrter Erregbarkeit bei absteigendem Strome. Wäre dies der Fall, so würden die Erscheinungen genau so sich verhalten, wie sie das Experiment bisjetzt lehrt, und der Eckhard'sche Beweis gegen die Irritabilität also in sich zusammenfallen. Das ist so klar, so einfach, dass man schwer begreift, wie Eckhard die begangenen logischen Fehler nicht sofort bemerkte, sondern sich dazu verleiten liess, zu sagen: „Gegen diese (die genannten) Thatsachen und Schlussfolgerungen vermag ich nun in der That Nichts mehr einzuwenden und ich betrachte daher die Angelegenheit über die Haller'sche Irritabilitätslehre, wenigstens für die quergestreifte Muskelfaser, um welche sich vorzugsweise der Streit handelte, als eine abgethane Sache."

Es hat trotz dieses Ausspruches indessen mit der Widerlegung des Eckhard'schen Satzes sein Bewenden nicht. Die Frage, um welche es sich handelt, ist von zu hoher Wichtigkeit, als dass wir uns entschliessen könnten, sie nur von einer Seite beleuchtet zu haben. Man könnte natürlich sagen, dass der obige Einwand, welcher auch von anderer Seite bereits und mit Recht dem Eckhard'schen Beweise gemacht ist, zwar vor der Hand nicht zu widerlegen sei, obschon ihm im Grunde eine geringe Wahrscheinlichkeit zukomme, dass in der That jener Zustand sich vom Nerven aus in die Muskelsubstanz fortsetze. Meiner eigenen Ueberzeugung nach — es handelt sich aber freilich um blossen Glauben — pflanzt sich jener Zustand nicht in die Muskelsubstanz fort. Der Grund, welchen ich hierfür anführen möchte, ist der, dass die Molecularzustände

Digitized by Google

des Muskels nur durch Geschwindigkeiten der Nervenmoleküle, also nur durch Bewegungen derselben verändert zu werden scheinen, nicht aber durch irgend welchen ruhenden Zustand. Ausserdem aber ist jener veränderte Zustand der Erregbarkeit des Nerven von sehr merkwürdigen Veränderungen des electromotorischen Verhaltens desselben begleitet, während sich in dem Verhalten des Muskelstromes keinerlei Veränderung zeigt, dessen Nerven sich im electrotonischen Zustande befinden. Alles dies indess beweis't im strengen Sinne für unsere Frage Nichts, da sich mannichfache Ausstellungen an jenem Grunde anbringen lassen, denen wir hier nicht weiter nachgehen wollen.

Aber schreiten wir weiter vor. Selbst wenn wir zugeben, was Eckhard wünscht, dass der Zustand des Muskels stets derselbe bleibt, welches auch der Zustand des Nerven sein möge, so lange letzterer nur ein statischer ist, selbst dann, sage ich, lässt sich der Eckhard'sche Beweis mit dem entschiedensten Erfolge und ich glaube am schlagendsten widerlegen, so zwar, dass man zugleich die Ueberzeugung davon trägt, der gemachte Einwand gegen den Versuch sei nicht eine mögliche, sondern die wirkliche Erklärung desselben. Ich habe bekanntlich darauf aufmerksam gemacht und durch strenge Versuche erwiesen, dass die Reizung des Muskels bei Erregung einer gegebenen Nervenstelle um so mächtiger ausfällt, je weiter die gereizte Stelle von dem Muskel entfernt ist. Rosenthal (Ueber die relative Stärke der directen und indirecten Muskelreizung in Moleschott's Untersuchungen. 1857.) aber hat ferner gezeigt, dass die unmittelbare Reizung des Muskels bei gleicher Stromesdichte eine geringere Zuckung zur Folge hat, als die des Nervenstammes. Giebt es also eine Irritabilität des Muskels, so ist seine Reizbarkeit kleiner als die des Nervenstammes, höchst wahrscheinlich also auch kleiner wie die der intramuskularen Fasern. Reizt man nun mit einem schwachen Strome den Muskel, so erzeugt dieser vielleicht wirklich nur durch Erregung der Nerven Zuckung, weil er zur Erregung der Muskelsubstanz nicht ausreicht, die viel weniger reizbar als der Nerv ist. Macht man nun durch Electrotonus die Nervenfasern unerregbar, so entsteht natürlich keine Zuckung. Gleichwohl

Digitized by Google

würde ohne jede Vermittlung der Nerven Zuckung durch Muskelreizung entstehen können, wenn die Stromdichte ausreichend gross genommen würde. — Bei chemischer Reizung ist der Erfolg des Experiments nach Eckhard unsicher; er beruft sich deshalb darauf, dass die intramuskularen Fasern schnell von der chemischen Substanz zerstört werden. Das ist möglich, aber nicht erwiesen. Die Stämme bleiben bei Reizung mit Kochsalz viele Minuten lang reizbar.

Wir verlassen hiermit Eckhard und wenden uns zu den Untersuchungen du Bois-Reymond's, welche besonderen Bezug haben zu unserem Gegenstande. Wir werden dann erkennen, dass die von Eckhard aufgesellten Sätze im Widerspruche stehen mit den von du Bois-Reymond ermittelten Thatsachen. Du Bois-Reymond hat bekanntlich gezeigt, dass durch den constanten Strom, der nur eine beschränkte Stelle des Nerven berührt, der Molekularzustand des ganzen Nerven verändert wird, indem er sofort auf allen Punkten nach einem neuen Gesetze electromotorisch wirksam wird. Du Bois-Reymond hat diesen neuen Zustand, den „electrotonischen", nach allen seinen Variabeln einer strengen Untersuchung unterworfen, die Thatsachen theoretisch diskutirt und dann die Beziehung des Electrotonus zur Physiologie der Nervenreizung im Allgemeinen in einer Weise dargelegt, welche so fruchtbringend für die Theorie der Nervenwirkungen werden sollte.

Da die in der nun folgenden Zeit unternommenen Untersuchungen die Erforschung der Veränderung der Erregbarkeit und ihre Beziehung zu den Veränderungen der electromotorischen Kräfte im electrotonischen Zustande ganz besonders wie natürlich in das Auge fassten, so wird es nothwendig sein, genauer auf du Bois-Reymond's Erörterungen einzugehen, einmal, weil dieselben dienen werden den späteren Gang unserer Untersuchung zu rechtfertigen, dem Leser aber die von jenem Forscher für uns gethane Arbeit auf diesem Gebiete vorzuführen.

Nachdem du Bois-Reymond die rein electromotorischen Veränderungen genauer erörtert, die ich hier als bekannt

voraussetze, handelt er endlich von der physiologischen Bedeutung des electrotonischen Zustandes der Nerven (S. du Bois-Reymond, Untersuchungen. Bd. II. p. 383.). Zunächst hebt er die wichtigen Beziehungen hervor, welche zwischen der Reizung und dem electrotonischen Zustande stattfinden, indem er zuerst darauf hinweisst, dass die Fortpflanzung desselben durch die Unterbindung und Durchschneidung gehemmt ist, wodurch die säulenartige Polarisation des Nerven als eine mit seiner besonderen Lebensthätigkeit, der Innervation, in engem Verkehr stehende bezeichnet werde. „Denn kein bekannter physikalischer Vorgang, derjenige ausgenommen, der Bewegung und Empfindung vermittelt, wird im Nerven durch die Unterbindung und Durchschneidung in seinem Fortschritt aufgehalten. Zu diesen beiden muss nun ein dritter hinzugezählt werden, dessen Ausdruck der Zuwachs im electrotonischen Zustande ist.

„Der electrotonische Zustand bietet also zunächst diesen bedeutenden Zug der Aehnlichkeit mit dem Vorgange der Innervation dar. Diese Analogie lässt sich beim ersten Anblick nicht ohne Erfolg noch weiter treiben. Zuwachs, Zuckung und Empfindung steigen mit der Dichtigkeit des Stromes (S. Bd. I. 252. 253; — Bd. II. 333. 334). Der Zuwachs und wenigstens die Zuckungen wachsen beide gleichmässig mit der Länge der erregten Strecke (Bd. I. 295; — Bd. II. 339. 345). Für die Erregung des Nerven zum electrotonischen Zustande wie zum Bewegung vermittelnden Vorgange ist die auf die Axe der Nervenröhren senkrechte Strömungsrichtung die am wenigsten günstige (p. 354). Wie sehr die Grösse des Zuwachses abhängig sei von der Leistungsfähigkeit des Nerven, wie unmittelbar dadurch die Stärke der Zuckungen bedingt werde, bedarf nicht der Erinnerung. Endlich haben wir in Erfahrung gebracht, dass mit den Zuckungen, mit der mechanisch ausgedrückten Leistungsfähigkeit der Nerven auch der electrotonische Zustand ein Ende habe (S. 381).“

Nichtsdestoweniger will du Bois-Reymond den electrotonischen Zustand nicht für einerlei gehalten wissen, mit dem Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorgange, weil

weil ja electrotonischer Zustand ohne Reizung bestehen könne, „da der Bewegung vermittelnde Vorgang nur in dem Augenblicke des Hereinbrechens, Aufhörens, Umsetzen des Stromes stattfindet, nur durch die positiven und negativen Schwankungen der Stromdichte in dem Nerven hervorgerufen wird, während der electrotonische Zustand in gleicher Stärke anhält, so lange als die Kette geschlossen ist, selbst bei Stromdichten in den Nerven, die noch bei weitem nicht hinreichen, durch zerstörende Electrolyse anhaltende Zusammenziehung zu erregen.“

Ritter hatte ja bereits frühe mit tiefreichendem Scharfblick seine grosse Theorie der Zuckung aufgestellt, derzufolge die Reizung beim Schliessen der Kette herrühre vom Uebergehen des Nerven aus dem natürlichen in einen veränderten Zustand, in welchen der Strom den Nerven versetze, während die Oeffnungszuckung durch die Rückkehr der Theilchen in ihre natürlichen Lagen und die hierdurch bedingte Gleichgewichtsstörung bedingt werde.

Du Bois-Reymond war es nun vorbehalten jene Veränderung, welche Ritter vorgeahnt hatte, in einer so auffallenden Weise am Multiplicator nachzuweisen. „Der Uebergang der natürlichen zur dipolaren Anordnung“, sagt du Bois-Reymond folgerecht, „der electromotorischen Moleküle bedingt jene Gleichgewichtsstörung, die als Schliessungszuckung, Schliessungsschmerz sich geltend macht. Die Rückkehr von der dipolaren zur natürlichen Anordnung ist es, wodurch sich der Organismus, um mit Ritter zu reden, den Oeffnungsschlag ertheilt. Mit einem Worte, das Galvanische Phänomen erscheint uns als ein besonderer Fall des von Nicholson und Carlisle entdeckten, durch die Eigenthümlichkeit des thierischen Leiters nur so wunderbar eingekleidet. Galvanische Reizung ist uns nichts mehr, als die erste Stufe der Electrolyse eines Nerven.“ (S. Bd. II. p. 387.)

Aus diesen Erörterungen du Bois-Reymond's abstrahiren wir uns nun sein Gesetz so, dass wir sagen, es vermöge überhaupt — im Allgemeinen — der electrotonische Zustand nicht im Nerven anzuheben, ohne dass dies Anheben

Digitized by Google

mit der Reizung nothwendig verbunden sei. Wo also durch die Natur der Verhältnisse der electrotonische Zustand in dem Nerven durch den electrischen Strom nicht herbeigeführt werden kann, da wird also auch keine Reizung stattfinden, weil ja electrische Reizung eben nichts ist, als der Uebergang der Moleküle aus dem natürlichen in den electrotonischen Zustand. Ein Beispiel hierfür würde ein Nerv liefern, der seine Leistungsfähigkeit mehr oder weniger verloren hat. Wir werden nnn freillch bald ein ungleich interessanteres Beispiel für unsere Erörterungen auffinden. Dasselbe stammt wiederum von du Bois-Reymond und ergab sich aus der von ihm angestellten Untersuchung der säulenartigen Polarisation bei gleichzeitiger Einwirkung zweier Ströme auf den Nerven. Die den Bäuschen nähere erregte Strecke wollen wir die erste, die davon entferntere die zweite erregte Strecke nennen.

„Der Erfolg war, dass bei gleicher und grösserer Dichtigkeit des Stromes in der zweiten erregten Strecke die beiden Phasen von derselben aus sich sowohl durch die eine als durch die andere von der ersten erregten Strecke aus kundgaben. War die Dichtigkeit des erregenden Stromes in der zweiten Strecke z. B. nur von einer einfachen Grove'schen Kette herrührend, während die Kette der ersten Strecke zwei Glieder besass, so konnte ich die Phasen von der zweiten Strecke aus durch die von der ersten hindurch nicht mehr unterscheiden und sie blieben auch dann aus, wenn nachmals die Kette der ersten Strecke geöffnet wurde, so dass der Nerv durch den stärkeren erregenden Strom für die Phasen vom schwächeren her dauernd undurchgängig schien gemacht worden zu sein.“

Du Bois-Reymond hat also hierdurch gezeigt, dass unter Umständen die säulenartige Polarisation sich durch eine bereits polarisirte Strecke nicht mehr fortzuflanzen vermag, mithin also auch nicht die Reizung, die ihm ja nur beginnende säulenartige Polarisation ist. Wie also der Multiplicator nicht mehr die Phasen der zweiten Strecke unter gewissen Bedingungen anzeigt, so wird ein an seiner Stelle

Digitized by Google

befindlicher, mit dem Nerven noch organisch zusammenhängender Muskel auch nicht mehr die Schliessungen des Kettenkreises in der zweiten Strecke anzeigen; genau wie wir es in dem Valentin'schen Versuche als in Wirklichkeit bestehend kennen gelernt haben.

Du Bois-Reymond führt aber ferner hierher gehörige Versuche an, wo der Strom in der ersten Strecke eine geringere Stärke hatte und deshalb die Erscheinungen ganz anders ausfallen, als man sie nach Eckhard's Versuchen erwarten sollte.

Du Bois-Reymond sagt nämlich (S. du Bois-Reymond a. a. O. Bd. II. p. 356):

„Auch bei dieser mittelbaren Art nun, die erregte Strecke zu verlängern, gab sich der oben S. 389 beschriebene Unterschied der beiden Phasen hinsichtlich des Einflusses dieser Veränderung zu erkennen. War nämlich der Nerv von der ersten Strecke aus in positiver Phase begriffen, so wirkte die positive sowohl als die negative Phase von der zweiten Strecke aus sehr leicht durch jene positive Phase hindurch. War dagegen die Phase von der ersten Strecke aus die negative, so war es häufig sehr schwer, die negative Phase von der zweiten Strecke aus durch jene hindurch wahrzunehmen. Die positive Phase aber von der zweiten Strecke aus zeigte sich in unveränderter Deutlichkeit. Ich versäumte nicht, indem ich den Museumsmultiplicator in den Kreis der zweiten erregenden Kette einschaltete, mich davon zu überzeugen, dass ihr Strom für beide Richtungen zwischen den Platinblechen einerlei Stärke hatte, oder, was noch beweisender ist, dass die Ueberlegenheit der positiven sich selbst dann bewährte, wenn zufällig der dieselbe erzeugende Strom schwächer ausfiel, als der zur negativen Phase gehörige."

Wie ich alsbald, nachdem Eckhard seine letzten Arbeiten über den vorliegenden Gegenstand veröffentlicht hatte, bemerkte, stehen die eben citirten Angaben du Bois-Reymond's über den electrotonischen Zustand in entschiedenem Widerspruch mit denen von Eckhard, weshalb ich bei der hohen Wichtigkeit des Gegenstandes nun bestimmt wurde,

Digitized by Google

die Frage in die Hand zu nehmen, um so mehr, als, wie es mir schien, das zu erobernde Gebiet ein sehr lohnendes sein musste. Die Sache ist folgende:

Zunächst wollen wir die oben von du Bois-Reymond aufgestellten Thatsachen in einer anderen Fassung wiedergeben, in welcher wir sofort die Beziehung derselben zu unserem Gebiete herauslesen können. Denken wir uns das peripherische Ende des Ischiadicus mit den Bäuschen in Berührung und senden wir nunmehr einen Strom in aufsteigender Richtung durch die erste erregte Strecke (wodurch die abgeleitete Strecke in die positive Phase geräth), so wirkt sehr leicht ein durch die zweite Strecke gehender Strom von beliebiger Richtung durch die erste Strecke hindurch, oder es pflanzt sich die oberhalb eines aufsteigenden Stromes erzeugte säulenartige Polarisation leicht nach abwärts durch die Strecke fort, welche der aufsteigende Strom durchfliesst. Da nun der Beginn der säulenartigen Polarisation mit Reizung verknüpft ist, so müsste Reizung oberhalb eines aufsteigenden Stromes leicht Zuckung bewirken, wenn der Nerv an seinem peripherischen Ende noch mit dem Muskel in Verbindung stände. Wenn aber in der ersten Strecke der Strom absteigend fliesst — oder die Phase von der ersten Strecke aus die negative ist —, so wirkt der von der zweiten Strecke aus durch den absteigenden Strom erregte Zustand schwer oder nicht durch die erste Strecke, welche von einem absteigenden Strom durchflossen ist, hindurch. Also eine Reizung mit einem absteigenden Strom oberhalb eines absteigenden constanten Stromes ist unwirksam. Also: die lähmende Wirkung des absteigenden Stromes ist grösser, als die des aufsteigenden, wenn der Reiz oberhalb des constanten Stromes angebracht ist. Das ist indessen gerade das Umgekehrte von dem, was Eckhard behauptet — freilich, wie wir zur Genüge einsehen werden — mit Unrecht.

Abgesehen hiervon war aber eine Fülle der wichtigsten Fragen von Eckhard nicht berührt worden, weil, wie er sagt, ihre Lösung ihm zu schwierig erschien. Wenn jener veränderte Zustand der Erregbarkeit seinen Grund hat in den

Digitized by Google

Ursachen, welche den Electrotonus erzeugen, so muss auch er, so schloss ich, diesen Veränderungen parallel gehen und von denselben Variabelen des Electrotonus in gleicher Weise abhängen. So also nimmt der Zuwachs im Electronus mit der Entfernung von den Electroden des constanten Stromes stets ab, so mit Verkleinerung der erregten Strecke, mit Abnahme der Stromstärke u. s. f.

Wie gestaltet sich nun die Veränderung der Erregbarkeit, wenn man dieselbe auffasst als Function dieser verschiedenen Variabelen?

Ich unternahm zunächst nun die Untersuchung der Erregbarkeitsveränderung als Function der Entfernung der betrachteten Stelle von der Electrode des constanten Stromes und veröffentlichte diese meine Resultate in zwei kurzen vorläufigen Mittheilungen. Ich klärte in diesen Mittheilungen nun zunächst den Widerspruch auf, welcher zwischen der Lehre des Electrotonus und den Eckhard'schen Resultaten zu sein schien, indem ich, in Uebereinstimmung mit den von du Bois-Reymond am Multiplicator beobachteten Thatsachen, nachwies, dass der oberhalb eines aufsteigenden Stromes angebrachte electrische Reiz sich leichter durch die durchflossene Strecke nach abwärts fortpflanze, als wenn der Strom absteigend, ja merkwürdigerweise als wenn gar kein Strom in der ersten Strecke vorhanden ist. Nur bei constanten Strömen, welche eine gewisse Stärke übersteigen, wirkt die oberhalb angebrachte Reizung in Uebereinstimmung mit den von Valentin, Eckhard und du Bois-Reymond ermittelten Thatsachen nicht mehr durch die erste durchflossene Strecke hindurch, welches auch immer die Richtung des constanten Stromes sein möge. — Ausserdem zeigte ich, dass die Veränderungen der Erregbarkeit am Nerven, der von einem polarisirenden Strome durchflossen ist, mit der Entfernung der betrachteten Stelle von der Electrode abnimmt, also ganz so wie der Zuwachsstrom im Electrotonus. Hierbei ergab sich aber die ganz wunderbare Thatsache, dass bei schwächeren Strömen diese Abnahme auch oberhalb der vom constanten Strome durchflossenen Strecke durch den Muskel nachweis-

Digitized by

bar ist, so zwar, dass oberhalb des absteigenden Stromes derselbe Reiz in der Nähe der positiven Electrode sich unwirksam erwies, bei grösserer Entfernung von derselben aber eben so stark wirkte, als ob der constante Strom gar nicht vorhanden wäre, obwohl die Reizung doch durch jene Strecken sich fortpflanzen muss, welche der unmittelbaren Reizung bis zu einem gewissen Grade unzugänglich sind.

Oberhalb des aufsteigenden Stromes ergab ferner derselbe Reiz in der Nähe der negativen Electrode stärkere Wirkungen, als wenn der Strom nicht vorhanden war, während derselbe Reiz bei grösserer Entfernung von der negativen Electrode aber ebenfalls so wirkte, als ob der constante Strom gar nicht da wäre, obwohl doch die Reizung sich durch jene Strecken fortpflanzen muss, welche für den sie unmittelbar treffenden Angriff so äusserst empfindlich sind. Ich gebe nun in Folgendem die beiden Mittheilungen wörtlich wieder, weil sich daran eine Kritik knüpft, welche Eckhard noch vor dem Erscheinen der ausführlichen Arbeit zu veröffentlichen für gut befand.

Die erste Mittheilung (S. Allgemeine Central-Zeitung 1856, 15. März. Pflüger über die durch constante electrische Ströme erzeugte Veränderung des motorischen Nerven.) lautet:

„Wenn man mit nahezu congruenten Schwankungen eines electrischen Stromes den Nerven des stromprüfenden Schenkels an verschiedenen Stellen reizt und die Grössen, um welche sich der Musculus gastroknemius verkürzt, auf die betreffenden Punkte der zur Abscisse genommenen und gerade gedachten Axe des Nervus ischiadicus als Ordinaten aufträgt, so stellt die hierdurch erzeugte Curve keine der Abscisse parallele Gerade dar, sondern eine unbekannte Function, welche gegen den an die Wirbelkörper grenzenden Theil des Nerven ansteigt. Man denke sich darum an allen auf einander folgenden Punkten desselben Reize angebracht, welche der Bedingung genügen, dass jeder von ihnen den Muskel um dieselbe Grösse verkürze. Die graphische Darstellung aller dieser Grössen erzeugt eine der Abscisse parallele Gerade, deren Veränderungen in dem Folgenden betrachtet werden,

Digitized by Google

wie man dieselben beobachtet, während ein Theil des Nerven von einem constanten Strome durchflossen ist.

I. Durch eine nahe dem centralen Ende gelegene Strecke des Nerven schicken wir einen sehr constanten Strom von bestimmter, eine gewisse Grösse nicht überschreitender Stärke in absteigender Richtung und untersuchen den zwischen negativer Electrode und Muskel gelegenen Theil des Ischiadicus. Eine zweite Kette reize nun die zu prüfenden Punkte vor und nach Schliessung des constanten Stromkreises durch eine Stromesschwankung, deren Gestalt jenen Punkten entspreche und deren Richtung entgegengesetzt ist dem durch die säulenartige Polarisation erzeugten Strome. Indem unser, jener Geraden entsprechende Reiz nunmehr von der negativen Electrode nach dem Muskel herabsteigt, während der constante Strom die gewählte Strecke durchkreist, erhalten die Ordinaten jener Linie einen beträchtlichen Zuwachs, welcher mit der Entfernung von der negativen Electrode abnimmt und gegen den Muskel verschwindet.

II. Der sehr constante Strom unserer Kette durchfliesse eine nahe an dem Muskel gelegene Strecke des Nerven in absteigender Richtung, so dass der zwischen positiver Electrode und centralem Stumpfe gelegene Theil sich bequem der Untersuchung darbietet. Wenn man nun durch die zu prüfenden Stellen Stromesschwankungen sendet, deren Gestalt unserer Geraden entspricht und deren Richtung übereinkommt mit dem Strome des Electrotonus, so erleiden nach Schliessung des constanten Stromes in nächster Nähe der positiven Electrode die Ordinaten jener Geraden eine beträchtliche Abnahme, deren merkwürdiges Gesetz folgendes ist: Diese Abnahme wird nämlich, indem der Reiz von der positiven Electrode nach dem centralen Ende hinansteigt, nicht grösser, sondern kleiner, um noch vor dem Ende zu verschwinden. Mit andern Worten: Die an der centralen Stelle des Nerven ausgelöste Zuckung erfährt keine Verringerung ihrer Grösse, während die in der Nähe der positiven Electrode, also von einem peripherischer gelegenen Theile des Nerven, ausgelöste Zuckung, welche vor Schlies-

Digitized by Google

sung des constanten Stromes mit jener gleiche, selbst viel grössere Stärke besass, zum Verschwinden kommt, sobald der constante Strom den Nerven durchfliesst.

III. Wir schicken durch das centrale Ende des Nerven einen Strom in aufsteigender Richtung und untersuchen den zwischen positiver Electrode und Muskel gelegenen Theil. Die reizenden Stromschwankungen haben die bezeichnete Gestalt und sind gleichgerichtet dem durch den Electrotonus erzeugten Strome. Indem nun der Reiz von der positiven Electrode herabsteigt, erfahren in der Nähe der letzteren die Ordinaten unserer Geraden eine beträchtliche Abnahme, welche aber wiederum um so kleiner ausfällt, je mehr wir uns von der positiven Electrode entfernen, so dass die Curve der negativen Zuwachse noch vor dem Muskel asymptotisch zu unserer Geraden heransteigt.

IV. Der constante Strom durchfliesst eine nahe dem Muskel gelegene Strecke des Nerven in aufsteigender Richtung und der Reiz steigt von der negativen Electrode nach dem centralen Ende des Nerven hinan. Die Stromesschwankungen haben die bezeichnete Gestalt und ihre Richtung ist entgegengesetzt derjenigen, welche dem durch den polarisirten Nerven erzeugten Strome zukommt. Es ergiebt sich nun das Gesetz: dass die Zuckung in der Nähe der negativen Electrode einen beträchtlichen Zuwachs erhalten hat, welcher um so mehr an Grösse abnimmt, je weiter wir nach dem centralen Ende hinansteigen oder uns von der negativen Electrode entfernen.

Es ist noch zu bemerken, dass keine Zuckung entsteht, wenn an eine Stelle des säulenartig polarisirten Nerven in grosser Nähe der negativen Electrode bei der von uns befolgten Versuchsweise ein gleichartiger Bogen angelegt wird, der metallisch geschlossen werden kann und dessen Spannweite gleich ist der Distanz einer Electrode des reizenden Stromes von der anderen. Dies dient zum Beweise, dass die Differenz aus der Stromstärke des Electrotonus in die des reizenden Stromes negativ ist.

Digitized by Google

Ein erläuterndes Beispiel der Gesetze III. und IV. wird durch folgendes Experiment dargestellt. Die Electroden des constanten aufsteigenden Stromes liegen in der Mitte des Nerven. Zur Seite der negativen befindet sich ein Electrodenpaar, durch welches dem Nerven eine Stromschwankung in absteigender Richtung zugeschickt wird, die vor Schliessung der constanten Kette in dem Muskel nur eine leise Spur von Zuckung bewirken soll. In gleicher Entfernung von der positiven Electrode des noch nicht geschlossenen constanten Stromkreises, also zwischen diesem und dem Muskel, liegt ein anderes Electrodenpaar, welches dem Nerven eine aufsteigende Stromesschwankung zuführt, der eine beträchtliche Zuckung entspricht. Schliesst man jetzt die constante Kette, so ist jene kräftige Zuckung verschwunden, statt jener schwachen eine starke vorhanden, während jener verschwundenen nun ein stärkerer, jener starken ein schwächerer Reiz entspricht.

Es verdient bemerkt zu werden, dass diese Resultate an Winterfröschen gewonnen sind."

Ich suchte sodann die gewonnenen Sätze auch so nachzuweisen, dass ich mich als Reiz nicht der Kette, sondern eines Inductionsschlages bediente, die Zuckungen aber mit Hülfe des Myographions mass.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung habe ich in der zweiten vorläufigen Mittheilung über denselben Gegenstand in folgenden vier Sätzen niedergelegt:

„I. Wir senden einen constanten absteigenden Strom durch eine nahe dem Musculus gastroknemius gelegene Strecke des Nerven und legen die Electroden des Inductionskreises in der Nähe der positiven Electrode und zwar zwischen dieser und dem centralen Stumpf des Nervus ischiadicus an. Ein absteigender Inductionsstrom erzeugt nun eine schwächere Zuckung, wenn der Nerv polarisirt ist, eine stärkere, wenn er sich im natürlichen Zustande befindet.

II. Der constante absteigende Strom durchfliesst eine nahe dem Stumpf gelegene Strecke des Nerven und der reizende absteigende Inductionsstrom trifft denselben in der Nähe

Digitized by Google

der negativen Electrode und zwar zwischen dieser und dem Muskel. Die Zuckungen erscheinen nun stärker, als wenn der constante Strom den Nerven nicht durchkreis't.

III. Der constante aufsteigende Strom durchfliesst eine nahe dem Musculus gastroknemius gelegene Strecke des Nerven, welche ein aufsteigender Inductionsschlag in der Nähe der negativen Electrode und zwar zwischen dieser und dem centralen Stumpfe trifft. Während der constante Strom kreis't, sind die Zuckungen stärker, als wenn dies nicht der Fall ist.

IV. Der constante aufsteigende Strom durchfliesst eine nahe dem Stumpfe gelegene Strecke des Nerven, welchen ein aufsteigender Inductionsschlag in der Nähe der positiven Electrode und zwar zwischen dieser und dem Muskel trifft. Während der constante Strom kreis't, sind die Zuckungen schwächer, als wenn dies nicht der Fall ist.

Ueberschreitet der constante Strom eine gewisse Stärke, so beobachtet man Erscheinungen ähnlich denjenigen, wie sie von den Herren Valentin und Eckhard beschrieben worden sind. Der Nichtbeachtung der Abhängigkeit dieser Erscheinungen von der Stromstärke sind die Irrthümer zuzuschreiben, in welche Herr Eckhard bei Behandlung der vorliegenden Frage verfallen ist.“ (S. E. Pflüger, Zweite Mittheilung über die durch constante Ströme erzeugte Veränderung des motorischen Nerven, Allgemeine Medicinische Central-Zeitung vom 16. Juli 1856.)

Diese, sowie noch eine rein sachliche Bemerkung gegen Eckhard, welche ich in meiner Arbeit über das „Hemmungsnervensystem der Gedärme“ gemacht habe, veranlasste diesen Forscher, in einer Kritik gegen diese vorläufigen Mittheilungen zu Felde zu ziehen, ohne die ausführliche Abhandlung von mir abzuwarten. Ich halte es hier für meine Pflicht, meinem Versprechen gemäss, ganz speciell auf die Widerlegung der Eckhard'schen Kritik einzugehen, um den Verdacht abzuweisen, als sei irgend eine der Eckhard'schen Ausstellungen begründet, weil ich sie ignorire.

Die Eckhard'schen Ausstellungen lassen sich unter zwei Gesichtspunkten betrachten; von dem einen aus sucht

Digitized by Google

Eckhard die von mir aufgestellte Behauptung zu entkräften, dass Reizungen oberhalb des aufsteigenden Stromes stärkere Zuckungen hervorbringen, wenn der Strom vorhanden, als wenn er es nicht ist, falls derselbe eine gewisse Stärke nicht überschreitet. Diese Behauptung von mir steht bekanntlich in directem Widerspruche mit Eckhard, welcher angiebt, dass jede oberhalb eines constanten Stromes von beliebiger Richtung angebrachte Reizung während der Stromesdauer schwächer ausfalle als sonst, und ausserdem noch der aufsteigende Strom eine stärkere Wirkung hierin ausübe, als der absteigende.

An dieser meiner Berichtigung der Eckhard'schen Irrthümer hat dieser nun folgende Ausstellungen zu machen:

a) „Der Versuch mit dem Inductionsstrom ist in seiner Anlage zwar richtig, aber die Eile, mit der Herr Dr. Pflüger zur Publication seiner Resultate schreitet, hat es ihm nicht gestattet, uns Mittheilung über diejenigen Einzelheiten des Versuches zu machen, durch deren Darlegung man erst das überzeugende Vertrauen auf einen Versuch gewinnen muss. Man war, da es sich um ein vollkommen neues, und in gewisser Beziehung auffallendes Factum handelt, berechtigt, Folgendes zu erwarten: 1) eine Angabe der Grenzen der Stromstärken, innerhalb deren sich das neue Phänomen zeigen soll. Man könnte für den Fall, dass ihm zur Angabe der Stromstärke in absolutem Maasse die nöthigen Hülfsmittel nicht zu Gebote gestanden hätten, sich schon mit einer Beschreibung der angewandten Vorrichtungen begnügen. — —“ Hiergegen habe ich Nichts einzuwenden, als dass es sich bei der vorläufigen Mittheilung von selbst verstand, dass ich die genaueren Angaben erst später machen würde, um so mehr, als ich nicht gewillt sein konnte, durch Preisgebung meiner erfolgreichen Methoden einem Anderen die weiteren Früchte meiner Bemühungen zu überlassen.

Eckhard wünschte ferner:

2) „Angaben über die Beschaffenheit der Inductionsstösse, und die wegen derselben bei Anstellung des Versuchs zu nehmenden Vorsichtsmaassregeln. Die Inductionsstösse, deren sich Herr Dr. Pflüger bedient, waren ohne Zweifel

Digitized by Google

solche, welche, wenn sie bei Abwesenheit des Stromes der Kette im Nerven diesen durchsetzten, nicht das Maximum der Zuckung erregten, weil man nicht leicht erwarten kann, dass unter Anwendung solcher, die das thun, noch eine deutliche Erhöhung der Zuckung bei Anwendung des constanten Stromes zur Wahrnehmung komme.

Die Arbeit mit solchen schwächeren Inductionsströmen hat aber ihr Missliches. Ich habe dies besonders in Erfahrung gebracht, als ich zuerst die Erhöhung der Erregbarkeit in dem oben genannten Falle nachweisen wollte. Eine kleine Aenderung in der Geschwindigkeit der Schwungscheibe des Myographions kann die Beschaffenheit des Inductionsstosses abändern und ohne besondere Vorsichtsmaassregeln zu nehmen, raubt dieser Gedanke fortwährend das Vertrauen zu solchen Versuchen. Im gedachten Falle gewährte mir die ähnliche Erfahrung, welche ich bei der Reizung mit Kochsalz gemacht hatte, eine wesentliche Stütze. Für Herrn Dr. Pflüger aber erwuchs daraus die besondere Nothwendigkeit, anzugeben, wie er sich gegen diese mögliche Fehlerquelle gesichert."

Hiergegen bemerke ich, dass ich bei meiner Methode nicht das Myographion rotiren, sondern den Muskel nur Striche machen liess, einmal während der constante Strom vorhanden war und einmal während dies nicht stattfand. Das wiederholte ich für einen Schenkel etwa 60 mal und mehr. Hier wechselten nun stets sehr schwache oder keine Zuckungen mit sehr starken Zuckungen regelmässig ab. Da die durch die Manipulation entspringenden Fehler die Reizung bei Vorhandensein des constanten Stromes in derselben Weise afficiren wie bei dem Nichtvorhandensein, so konnten jene regelmässigen Abwechselungen nicht in ihnen begründet sein, sondern sie mussten abhängen von der Variation der gegebenen Variabeln, deren periodische Schwankungen getreu sich wiederspiegelten in synchronen periodischen Schwankungen der Werthe der Hubhöhen. Dieses ist vollkommen streng, wenn auch vielleicht nicht elegant. Ich habe übrigens später den Inductionsschlag durch einen Fallapparat erregt, welcher bewirkte, dass,

Digitized by Google

weil der fallende Körper immer aus derselben Höhe herabfiel, der primäre Kreis immer mit derselben Geschwindigkeit geöffnet oder geschlossen wurde. Hiermit fällt denn jener Einwand Eckhard's ganz weg. Denn die so erhaltenen Zukkungen differirten ohne den constanten Strom um so kleine Grössen, welche gegen die zu beobachtenden Differenzen verschwanden. Gleichwohl erhielt ich hier stets durch Reizung oberhalb des aufsteigenden Stromes stärkere Zuckungen während der Stromesdauer, als wenn dieser nicht vorhanden war. — Endlich habe ich auch noch die Erhöhung der Erregbarkeit nunmehr durch chemische Reizung nachgewiesen und zwar messend, indem ich den Muskel die Hubhöhe während des Tetanus auf eine berusste Glasfläche aufzeichnen liess. — — Schliesslich aber muss ich bekennen, dass Eckhard wenigstens bei seinem Verfahren, die Geschwindigkeit der Schwungscheibe aus der geschätzten Entfernung der Centrifugalkugeln zu bestimmen, gar kein Recht hatte, an meiner Methode Ausstellungen zu machen, da gewiss Schliessung und Oeffnung mit der Hand noch sicherere Resultate giebt, als solche Schätzung des Abstandes zweier fortwährend um einander rotirender Kugeln, deren scheinbarer Abstand ja für das ruhende Auge fortwährend variirt. Denn Eckhard sagt doch selbst: „Wählt man Inductionsströme, welche reichlich das Maximum der Zuckung erzeugen, so wird eine kleine Differenz in der Schnelligkeit des Oeffnens nicht bemerkbar. Hier aber wird sie es, woraus folgt, dass man sich übe (!!), stets bei gleicher Entfernung der Centrifugalkugeln die Zuckung ausführen zu lassen.“ (S. Eckhard, Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Heft I. p. 34.)

Eckhard wünscht ferner die besondere Versicherung von mir, dass und wie ich mich vor unipolaren Ableitungen gesichert hätte.

Wenn ich den Oeffnungsschlag benutzte, so isolirte ich Präparat und die Apparate und stellte dann die bekannten Controlversuche mit Durchschneidung und Unterbindung an. Ich habe aber meistens mit dem Schliessungsschlage gearbeitet und dieser hat gar keine unipolare Wirkung, wie ich gefunden habe.

Eckhard verlangte

3) „eine Beschreibung oder Zeichnung der beiden Curven, woraus man sich ein Urtheil über die Grösse der Verstärkung der Zuckung hätte bilden können. Dies ist nothwendig, einmal, weil möglicherweise die eine Curve nur um eine so geringe Grösse über der anderen liegen kann, dass man sich nicht des Misstrauens erwehren mag, es sei dies durch einen anderen Umstand bewirkt, als den, welchem man es gern zuschreiben möchte;" der Unterschied beträgt nun aber bei passender Stromstärke geradezu das Maximum der Zuckung; d. h. während der aufsteigende constante Strom nicht vorhanden ist, hat man die Hubhöhe Null, und dann das Maximum der Hubhöhe, wenn der constante Strom aufsteigend fliesst. Eckhard fährt dann fort: „sodann, weil die Unterschiede möglicher Weise so gross ausfallen, dass die Ursachen dieser Erscheinung in etwas Anderem als in einer erhöhten Erregbarkeit gesucht werden müssen;" Warum? das lässt sich doch in der That auch nicht entfernter Weise einsehen. Woher weiss denn Eckhard, um wie viel die geheimnissvolle Wirkung des Stromes die Erregbarkeit abzuändern vermag? Wie gross dürfen denn nun die beobachteten Zuckungs-Differenzen sein, damit die Erscheinung vom Strome abgeleitet werden könne? Aber wie? Wenn ich Eckhard, dem die Grösse der Wirkungen offenbar ganz unbekannt ist, sage, dass die Differenzen vor dem absteigenden Strom eben so gross ausfallen, wenn man den Versuch nach seiner Methode passend anstellt, nämlich nicht, wie er einen bereits ziemlich starken Reiz verwendet, wenn der Strom nicht fliesst, sondern einen Reiz, der kaum eine Zuckung oder gar keine macht. Natürlich je grösser die Zuckung bereits ausfällt bei dem gewöhnlichen Zustande des Nerven, um so kleiner muss die beobachtete Differenz ausfallen mit der Zukkung, welche durch Reizung des polarisirten Nerven erhalten ist, weil es ja ein Zuckungsmaximum giebt. Nur wenn man das Minimum des Reizes wählt, kann man also bis zu einem gewissen Punkte erfahren, wie gross die Wirkung des Stromes sei, welche die Erregbarkeit erhöht. Würde Eckhard nun

Digitized by Google

nicht auch folgerecht die von ihm beobachtete Erhöhung der Erregbarkeit vor dem absteigenden Strome von anderen Ursachen herleiten müssen, als von dem constanten Strom, weil sie so gross ist, wie sie überhaupt nur sein könnte, eben so gross, als die vor dem aufsteigenden Strome? Wie gewaltig ist aber endlich die lähmende Wirkung des Stromes? Reize, welche weit stärker sind, als diejenigen, die bereits das Maximum der Zuckung hervorbringen, werden durch ihn vollkommen unwirksam gemacht. Müsste man nun mit Eckhard nicht auch behaupten, diese Wirkung könne doch nicht gut vom Strome ausgehen, weil sie doch gar zu mächtig sei? Gehen wir nicht weiter diesen Betrachtungen nach, da ihre Unhaltbarkeit so klar zu Tage liegt. Eckhard wendet sich darauf zu folgendem Umstande, wo er uns die Gefahr einer Täuschung vormalt.

„Man denke sich, es werde zuerst die Curve aufgenommen, welche bei alleiniger Behandlung des Nerven mit dem Inductionsstrom entsteht. In dem Zeitraum nun von der Beendigung derselben bis dahin, wo der Inductionsstrom zum zweiten Male den Nerven durchfährt, wird die constante Kette geschlossen, durch welche eine Zuckung entsteht. Dabei kann es sich nun ereignen, dass die Curve, welche der zweiten Reizung entspricht, ihren Anfang von einer höheren Abscisse nimmt, weil der Muskel seine frühere Länge noch nicht wieder erreicht hat, sei es in Folge der durch den ersten Inductionsstrom oder durch Schliessen der Kette erfolgten Zuckung.“ Ich sagte schon vorher und mache mich anheischig, dies jeden Augenblick zu demonstriren, wie ich dies in meinen Vorlesungen gethan habe, dass einmal die Zuckung Null und dann durch denselben Inductionsstrom das Maximum der Zuckung hervorgebracht wird, wenn unterhalb des Reizes der constante Strom aufsteigend fliesst. „Sollte sich auch Herr Dr. Pflüger so schwacher aufsteigender Ströme bedient haben,“ fährt Eckhard fort, „dass keine Schliessungszuckung stattfand, so bleibt immer noch die Gefahr der Täuschung durch die Zukkung durch den vorangegangenen Inductionsstrom bestehen und das um so mehr, als es eine Erfahrung ist, dass je

oberflächlicher die Betrachtung, desto grösser die Erhebung über Andere."

Wir sehen hier, dass bei Eckhard ein Moment auftritt, an dem er die Stromstärken schätzt, nämlich das Zuckungsgesetz! Aber es ist doch leicht, sich von der Thatsache zu überzeugen, dass gerade umgekehrt der schwache aufsteigende Strom nur Schliessungszuckung giebt und keine Oeffnungszuckung, der starke aber nur Oeffnungszuckung und keine Schliessungszuckung. Dann freilich ist begreiflich, warum Eckhard niemals das Phänomen gesehen hat, welches er bekämpft; denn wenn er starke Ströme hatte, glaubte er schwache zu haben, weil keine Schliessungszuckung da war, während er starke vor sich zu haben glaubte, wenn er Schliessungszuckung und Oeffnungszuckung wahrnahm, in Wirklichkeit aber schwache Ströme vor sich hatte. Jeder Multiplicator, eingeschaltet in den Stromkreis, hätte ihn eines Besseren belehrt! Wer nun, frage ich, ist es, dem der Vorwurf oberflächlicher Betrachtung zu machen ist?

Eckhard fährt dann aber fort:

„b. Gegenüber den Ausstellungen, welche den von Messungen begleiteten Versuchen gemacht wurden, haben die durch Oeffnen und Schliessen einer einfachen Kette angestellten keine Bedeutung mehr; um so weniger, als alle Anhaltspunkte einer Beurtheilung derselben fehlen."

Man kann sehr gut unterscheiden mit blossem Auge, ob eine Zuckung da ist oder nicht; mithin bedarf es hierzu keiner weiteren Messung. Ausserdem beruft sich aber Eckhard in seinen Versuchen darauf, dass der Kochsalztetanus unter gewissen Verhältnissen durch den constanten Strom „offenbar" verstärkt wurde. Warum lässt er denn nun hier für sich das Maass mit dem Auge zu, während er meiner Bestimmung deshalb jede Bedeutung abspricht? Man täuscht sich sehr, wenn man meint, die exacte Forschung läge in der Wahl glänzender und complicirter Apparate! — Nein! — Sie liegt ganz wo anders.

„Man weiss nicht," fährt Eckhard fort, „ob er sich polarisirbarer Electroden bedient, wie weit die Electroden-

Digitized by Google

paare der beiden Ketten von einander standen und ob und wie er sich versichert, dass das Resultat nicht durch Stromesschleifen bedingt war."

Gegen Stromesschleifen schützt Vorsicht und den Beweis gegen sie liefert Durchschneidung; die Electroden waren aus Zinn, das sich wenig polarisirt, aber durch seine Polarisation den Versuch nicht falsch machen konnte, weil ich an einem Schenkel viele Male hinter einander bald mit, bald ohne Strom arbeitete mit regelmässiger Abwechselung starker und schwacher Zuckungen. Was könnte die Polarisation anders bewirken, als eine Schwächung des constanten Stromes bei Vermeidung der Erschütterung der Electroden? Hierdurch würde doch nur bewirkt, dass der constante Strom schwächer wirkte. Später habe ich aber ohne Polarisation die Versuche wiederholt mit genau demselben Erfolge. Auf den Abstand der Electrodenpaare aber kommt nur wenig an. Sie hatten, wie ich ja angegeben habe, alle möglichen Distanzen.

Wie sehr Eckhard selber fühlt, wie schwach seine Einwände sind, geht deutlich genug aus den folgenden Worten desselben hervor, worin er sagt: „Zu den bisher gemachten Bemerkungen, mit denen ich keineswegs den Angaben des Herrn Dr. Pflüger widersprochen haben will" — obschon er mich mit Beleidigungen überhäuft — „und welche nur den Zweck hatten, auf den Mangel an Vorsicht und Umsichtigkeit aufmerksam zu machen, welche bei der Ausführung und Darlegung solch' tückischer Versuche nothwendig sind, fügt sich jetzt nun eine Bemerkung mehr allgemeinen Inhalts, die zwar gleichfalls nicht widerlegen, aber die Wahrheit jener Angaben etwas bedenklich machen soll." — Den Vorwurf des Mangels an Vorsicht und Umsichtigkeit kann ich ruhig über mich von dieser Seite her ergehen lassen, indem sich zeigen wird, dass nicht meine, sondern Eckhard's Angaben an allen Ecken und Enden zusammenbrechen, wo die Kritik und der strenge Versuch an sie herantritt. Tückisch aber sind die Versuche nicht, sondern bei ausreichenden Methoden sind sie so sicher, so einfach, dass ich keine Thatsachen kenne, selbst nicht in der anorganischen Physik, welche an Constanz ihnen voran-

Digitized by Google

stehen. Ich stelle diese Behauptung in strengstem Sinne auf. Was nun die allgemeinen Betrachtungen angeht, die meine Angaben „etwas bedenklich“ machen sollen, so lassen sich diese also vernehmen:

„Für stärkere constante Ströme von zwei und mehr Elementen gilt das Gesetz, dass die aufsteigende Richtung überall lähme, die absteigende nur oberhalb der durchflossenen Strecke. Für schwächere soll eine Abweichung davon stattfinden und zwar in der Weise, dass für den absteigenden Strom die vorige Beziehung bestehen bleibe, für die aufsteigende sich in der besprochenen Weise ändere. Es erscheint nun nicht recht wahrscheinlich, dass nur eine Stromesrichtung eine Abänderung des Gesetzes herbeiführen solle und nicht auch die andere. Man wird sich nicht darauf berufen dürfen, dass für schwache Ströme ja die wesentlich andere Wirkungsart des aufsteigenden Stromes durch die schon alte Erfahrung bewiesen sei, dass, nachdem äusserst schwache Ströme eine Zeit lang den Nerven aufsteigend durchflossen hätten, mit der Lösung der Kette der Muskel zu zucken anfange und was bekanntlich für den absteigenden Strom nicht gelte; denn nach Heidenhain soll der absteigende Strom ebenso wirken.“

Es ist bei Eckhard, als ob wir so genau über diese so complicirten Dinge unterrichtet wären, dass man schon a priori den Werth der Thatsachen nach philosophischen und zwar nicht den Thatsachen entlehnten Betrachtungen abzuschätzen sich unterfangen könnte. Aber ich will sogleich Eckhard auf eine andere Thatsache aufmerksam machen, die ich gefunden habe und die gleichfalls ein verschiedenes Verhalten beider Ströme beurkundet. Denken wir uns ein Electrodenpaar von 4 Mm. Spannweite an der tieferen Stelle des Ischiadicus angelegt, so giebt der schwache aufsteigende Strom nur Schliessungszuckung und keine Oeffnungszuckung, wie schon Ritter wusste. Der starke aufsteigende Strom giebt nur Oeffnungszuckung und keine Schliessungszuckung. Also das Zukkungsgesetz ist für den schwachen aufsteigenden Strom das Umgekehrte von dem bei starkem aufsteigenden Strome, und wohl zu merken, hier ist jene Umkehr nicht durch Modifica-

Digitized by Google

tion erzeugt, indem irgend ein frisch präparirter Froschschenkel, der noch gar nicht auf electrischen Reiz reagirt hat, keine Spur von Schliessungszuckung, sondern nur Oeffnungszuckung giebt bei starkem aufsteigendem Strome (4 — 6 Grove), während derselbe nur Schliessungszuckung gegeben hätte, wenn der Strom sehr schwach gewesen wäre (unter 1 Grove). Der schwache absteigende Strom aber giebt unter den gegebenen Verhältnissen als Regel nur Schliessungszuckung und keine oder schwache Oeffnungszuckung, ebenso der starke. Diese Thatsache ist nun sehr leicht zu constatiren und sehr beständig. Hier also zeigt der starke absteigende Strom dasselbe Gesetz wie der schwache, während dies beim aufsteigenden Strome nicht der Fall ist. Die Thatsache demnach — und nichts als sie — kann hier entscheiden. Am Gerathensten war es demnach, dass sich Eckhard nun wieder dem Experimente zuwandte, um nochmals zu prüfen, ob meine Angaben richtig seien. Freilich scheitert wiederum sein Bestreben an der Ohnmacht seiner Methoden.

Eckhard fängt wieder an, nur mit schwachen Strömen Curven zu zeichnen, einmal ohne, einmal mit aufsteigendem Strome. Die Curven theilt er in zwei Classen. „Bei denen der ersten liegen je zwei zusammengehörige Curven entweder genau aufeinander oder zeigen keine grösseren Differenzen von einander, als zwei Curven, welche man unmittelbar hinter einander mit demselben Inductionsstrom, ohne einen constanten Strom durch den Nerven zu leiten, erhält.“ (Hier hätte Eckhard doch gut gethan, uns mitzutheilen, wieviel sich seine Curven nun von einander unterscheiden. — Ich glaube, sie werden oft sehr verschieden ausgesehen haben.) „Bei denen der zweiten liegt die während des Schlusses des constanten Stromes geschriebene Curve deutlich höher, aber wenn man ihren Anfangstheil genauer und mit Hülfe einer Loupe untersucht, so ergiebt sich, dass diese grössere Erhebung nur eine scheinbare ist, indem das eingetreten ist, was ich oben als Möglichkeit hinstellte. Die Fig. 1. (s. unsere Fig. 1.) stellt die Anfangstheile zweier zusammengehöriger Curven der Art dar. Die Horizontale f wurde von der zeichnenden Spitze

des Myographions geschrieben, als die Schwungscheibe langsam mit der Hand an jener vorbei bewegt wurde. Die Curve a entstand, als nur ein Inductionsstoss aufsteigend den Nerven am centralen Stumpfe durchsetzte. Die b wurde geschrieben, als derselbe Inductionsstrom angewandt wurde, während unterhalb seiner Electroden ein constanter Strom, dessen Stärke sich innerhalb der oben angegebenen Grenzen hielt, aufsteigend in Nerven floss. f′ ist das Ende der Curve a, f″ das der b, da bekanntlich der Muskel meist sehr langsam zu seiner vorigen Länge zurückkehrt. Hier ist ersichtlich, dass b deshalb höher liegt, weil der durch Schluss des constanten Stromes zusammengezogene Muskel sich noch nicht wieder zu seiner ursprünglichen Länge ausgedehnt hatte. In diesem Falle rührt es nicht her von der durch den ersten Inductionsstoss entstandenen Zuckung, denn dann hätte b tiefer beginnen müssen. Begreiflicher Weise benutze ich keine von diesen allen, um das genannte Gesetz zu demonstriren, aber ich gebe auch nicht zu, dass man aus ihnen die Berichtigung ableite, welche Herr Dr. Pflüger wünscht.“

Es fragt sich nun: Warum hat Eckhard die Erhöhung nicht wahrgenommen?

Betrachtet man seine Figur, auf die er sich soeben berief und bei welcher ich voraussetzen muss, dass sie um beweisend zu sein, einem wirklichen Versuche entnommen ist, so ergiebt sich, dass Eckhard bereits ohne constanten Strom sehr starke Zuckungen aufzeichnen liess, welche, wenn sie das Maximum erreichen, natürlich nicht wohl noch besonders grosse Zuwächse aufweisen können, wenn die Reizung durch Erhöhung der Erregbarkeit noch mehr gesteigert wird. Ich möchte hierauf kein zu grosses Gewicht legen, da Eckhard wohl auch ganz schwache Zuckungen zufällig vor sich bekommen haben wird. Ich bin vielmehr der Ansicht, dass Eckhard's Versuche an folgendem Uebel laborirten, über das er ganz schweigt, weil er die Unsicherheit seiner Versuche in ein zu grelles Licht gestellt haben würde. Ich meine die Beherrschung der Zuckung mit dem Oeffnungsinductionsschlag. Denn der Leser würde freilich dann erstaunen, wenn

er vernehmen würde, dass dieser Oeffnungsschlag, scheinbar unter denselben Bedingungen durch den Nerven geleitet, bald kleine bald grosse Zuckungen hervorbringt, ohne dass man hierzu eines constanten Stromes bedarf. Nun lässt sich wohl trotzdem für die gröberen Verhältnisse zu Stande kommen, für die feineren aber, um welche es sich handelt, gelingt dies nicht mehr. Ich wenigstens habe mit einer Methode den Oeffnungsschlag erzeugt, wo die mechanische Vorrichtung scheinbar alle Cautelen innehielt, um den primären Kreis stets auf dieselbe Weise zu öffnen. Aber umsonst; die Fehlergrenzen bewegten sich in so hohen Werthen wie die zu beobachtenden. Von diesem wichtigen Punkte schweigt nun Eckhard ganz, während er den Leser von Kleinigkeiten unterhält, deren Beobachtung sich so von selbst versteht, dass ihre Erzählung ihm jeder gern erlassen hätte. Liegt aber hierin nicht der Grund des von ihm erhaltenen negativen Resultates, so liegt er gewiss in der unrichtigen Stromstärke, da seine Electrodenstellungen, die er später angiebt, ausreichen, um die Erscheinungen wahrzunehmen. Wollte Eckhard mir widersprechen, mich behandeln, wie er es thut, so war es nothwendig für ihn, die Erregbarkeit als Function der Stromstärke zu untersuchen, indem letztere von Null aus stetig anschwillt. Zwei oder drei Stromstärken willkürlich und ohne Plan herauszugreifen, das ist eine Methode, die zu gar Nichts führen kann. Er meint zwar, wenn er eine so unpassende Wahl getroffen, sei das nicht seine Schuld. Warum nicht, da er sich doch auf Grund seiner Versuche ein Urtheil anmasst? Ich werde später zeigen, wie leicht, einfach und sicher diese Funktion sich verfolgen lässt, natürlich nicht, indem ich mich der Fäden bediene, deren Widerstand so variabel sein muss und deshalb so unsicher um Stromstärken zu reguliren.

Eckhard weis't endlich noch darauf hin, dass das Phänomen sich vielleicht nur bei besonderen Erregbarkeitszuständen zeige. Dem ist nicht so — sondern das Phänomen zeigt sich bei jedem, sage bei jedem Frosche. Ich habe es bestätigt gefunden im Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter,

und zwar in jedem Monate. Ich habe es gefunden eben so sicher und beständig, niemals versagend bei frisch gefangenen Sommerfröschen, wie bei solchen, die im Winter aus dem Eise genommen waren. Ich habe es gleichfalls bestätigt gefunden bei lange eingefangenen, bei kranken wie bei gesunden Thieren. Ja ich habe endlich mich überzeugt, so überflüssig es auch sein mochte, dass beide Varietäten der Rana esculenta ebenfalls immer auf das Deutlichste das Phänomen zeigen, ohne dass ich dabei eine Loupe zu incommodiren brauchte, da ich die Zuckung Null mit dem Zuckungsmaximum zu vergleichen hatte. Ich kam dieser Vorsicht darum nach, weil in Giessen, wo Eckhard lebt, nur die kleine Varietät der esculenta vorkommt, während sich hier beide Varietäten vorfinden. Bekanntlich wird die eine in ihren erwachsenen Exemplaren sehr viel grösser als die andere, ist weniger lebhaft gefärbt, meist von einem dunklen Graugrün, mit nicht so tief schwarzen, sondern mehr schmutzig dunklen Flecken, wie die andere, deren sehr glatte spiegelnde Haut lebhaft grün gefärbt ist und schärfer begrenzte tief schwarze Flecke trägt.

Ich werde im Laufe dieses Werkes genau die Methode bezeichnen, unter welcher das Phänomen, über welches wir handeln, zur Erscheinung tritt. Freilich sind sie so einfach, dass Eckhard sie hätte sofort finden müssen, als er nochmals an die Thatsachen heranging.

Ich wende mich nunmehr zu dem zweiten Theile von Eckhard's Kritik, in welcher derselbe solche Angaben von mir zu entkräften sucht, worin ich ganz neue Thatsachen aufstelle, die mit seiner Arbeit zunächst in gar keiner Beziehung stehen, weil er nämlich, wie er meint, die Schwierigkeiten für unübersteiglich hielt, die zu jenen führen konnten.

„Uebrigens vergleiche man den Schluss der Kritik über den zweiten Theil der Behauptung Pflüger's, zu der wir jetzt übergehen. Es ist die von ihm behauptete Erweiterung des von mir (?? Ref.) aufgestellten Satzes, in der Angabe bestehend, dass die jedesmaligen Wirkungen des Stromes bezüglich der von ihm eingeleiteten Veränderungen der Erreg-

barkeit von den Electroden aus asymptotisch abnehmen sollen, gerade so, wie dies mit dem Electrotonus der Fall ist. Ich will den Angaben des Herrn Dr. Pflüger nicht insofern widersprechen, als ich behaupte, an der Sache sei durchaus nichts Wahres, aber ich erlaube mir, den Leser auf die grossen Schwierigkeiten aufmerksam zu machen, welche uns hier entgegentreten und von deren Existenz, noch viel weniger von deren Ueberwindung uns Herr Dr. Pflüger etwas gesagt hat.“ Aus dem einfachen Grunde, weil das nicht in die vorläufige Mittheilung gehörte. „Ich muss offen bekennen, dass ich dieserhalb die Frage gar nicht in Angriff genommen habe, obgleich nichts näher liegt, als auf dieselbe zu verfallen, nichts näher, als sich die Sache so auszusinnen, wie sie Herrn Dr. Pflüger's Angaben entspricht, insbesondere, wenn man sich vorstellt, dass die Theorie des Electrotonus in ihrer jetzigen Form ohne besonderen Zusatz die in Rede stehenden Phänomene erkläre.“ (S. Eckhard, a. a. O. p. 354.)

Nun dann bleibt mir doch wenigstens das Verdienst der Ueberwindung jener Schwierigkeiten des Experimentes. Aber auf der nächsten Seite sagt Eckhard von diesen sich nach ihm also quasi von selbst verstehenden Angaben: „Ich will die Kritik dieses Punktes damit beschliessen, aufzuzeigen, dass auch für die Vorstellung gewisse und zwar nicht unbedeutende Schwierigkeiten erwachsen, wenn man an die Richtigkeit der Pflüger'schen Angaben in ihrem ganzen Umfange glaubt. Auf Seite 345 gesteht er, dass es sich „um ein neues und in gewisser Beziehung auffallendes Factum“ handelt. Bald also sind bei Eckhard die Thatsachen „auffallend“, „neu“, bieten nicht „unbedeutende Schwierigkeiten der Erklärung“, bald liegt nichts näher, „als auf dieselben zu verfallen, nichts näher, als sich die Sache so auszusinnen“, wie ich sie angebe — eine Logik, die wirklich ohne Beispiel ist. Eckhard fährt darauf in seiner Betrachtung meiner Angabe fort: „Ein paar Versuche die ich einmal früher in Bezug auf diesen Punkt anstellte, ergaben, dass sich die Sache auf dem Cylinder des Myographions ganz anders als auf dem geduldigen Papier ausnimmt.“

„Um nun von den Schwierigkeiten zu reden, so sind sie theils experimenteller. theils theoretischer Natur. Zunächst treten alle diejenigen Bedenken in Kraft, die ich bereits oben angezogen. Dazu kommt nun noch Folgendes. Erstens wird sich überall der vom Electrotonus herrührende Strom einmischen und zwar an den verschiedenen Stellen des Nerven in verschiedener Weise. Es ist möglich, dass dieser Einfluss für manche Anordnungen unmerkbar wird, jedenfalls aber bedarf es der besonderen Untersuchung, deren sich Herr Dr. Pflüger so gerne überhebt.“ Gegen diese animose Bemerkung Folgendes: Der „Kenner“ hat gelesen. dass ich bei Reizung mit der Kette den reizenden Strom in gleicher Richtung mit dem Strome des Electrotonus hindurchsandte, wenn ich Abnahme der Erregbarkeit nachweisen wollte, sodass also ein stärkerer Strom in den Nerven einbrach, wenn ich die schwächere Wirkung sehen wollte. Wurde aber die Erhöhung demonstrirt, so war der Strom der reizenden Kette entgegengesetzt dem Strome des Electrotonus, was ich ausdrücklich in meiner ersten Mittheilung angegeben habe. Wenn also die Erhöhung der Erregbarkeit auftrat, reizte ich mit einem schwächeren Strom, um dann a fortiori auf die Erhöhung schliessen zu können. Jeder sieht also, wie sehr ich auf diesen Umstand Rücksicht genommen, sogar aus der vorläufigen Mittheilung. Bei den Inductionsströmen kann mich, wenigstens von Eckhard's Seite, kein Vorwurf treffen, da ich mich ganz desselben Verfahrens wie er bediente. Meine Electroden des reizenden Stromes lagen zwar mitunter denen des constanten Stromes näher. Aber ich hatte ja auch schwächere Ströme als er, der ebenfalls sich durch Nichts überzeugt hat, von welchem Einfluss diese Ströme sein könnten, ja, wie ich zeigen werde, sogar eine unrichtige Vorstellung darüber hatte, da er glaubt, dass der kreisende Strom des Electrotonus bei Anlegung der Electroden des secundären Inductionskreises die Erregbarkeit des Nerven herabsetze, während gerade das Umgekehrte stattfindet.

Eckhard fährt fort: „Zweitens ist zu beachten, dass während man für denselben Strom verschiedene Strecken des

Nerven auf seine Erregbarkeit prüfen will, diese selbst sich während dieser Zeit ändert.“ Diesen Einwand beseitigte ich dadurch, dass ich vielemal hinter einander zwei gegebene Punkte prüfte, einmal bei vorhandenem und das andere Mal bei nicht vorhandenem Strom, und so jene Erregbarkeitsschwankungen eliminirte. „Daher dürften“, fährt Eckhard fort, „vorausgesetzt, dass die quantitativen Unterschiede in der Veränderung der Erregbarkeit auf den verschiedenen Strecken des Nerven so gross sind, sich nur die allergröbsten Züge eines Gesetzes durch das Experiment aufdecken lassen, und durch offenes Bekenntniss würde man ersehen, wie viel Hypothetisches demselben anhaftet.“ Ich werde das Gegentheil beweisen. „Wie es in Wirklichkeit mit diesen Dingen steht, geht z. B. daraus hervor, dass ich beim besten Willen nicht einmal mit Sicherheit die Erhöhung der Erregbarkeit jenseits der negativen Electode bei schwachen aufsteigenden Strömen habe nachweisen können, wie viel weniger noch einen Unterschied in denselben in der von Pflüger angegebenen Weise.“

Wenn aber nun Eckhard eines Tages, nachdem ich ihm die Methode überliefert haben werde, sich überzeugen wird zu seinem Erstaunen, dass die von mir beobachteten Unterschiede enorm sind, so gross, als sie überhaupt ausfallen können, da die Differenzen dem Zuckungsmaximum gleichkommen, wie dann? Dann wird jener Satz wohl eine für Eckhard sehr unangenehme Bedeutung gewinnen.

„Man muss bei derartigen Versuchen nicht vergessen,“ folgert Eckhard weiter, „dass es hier wie im Gebiete des Mikroskopischen eine Grenze des sicher Demonstrirbaren giebt, dass man diese der Wahrheit zu Liebe respectiren müsse und sie nicht zu Liebe einer Idee überschreiten dürfe.“ Es handelt sich hier, wie gesagt, um nichts Mikroskopisches, sondern um die grössten Differenzen, so bedeutend, dass ich sie jedem für das blosse Auge anschaulich machen will. „Hat aber dennoch Herr Dr. Pflüger seine Ueberzeugung auf dem Wege des Experimentes gewonnen“, fährt Eckhard fort, „so hatte er ohne Zweifel die Aufgabe, uns seine Methode aus-

führlicher mitzutheilen, als es geschehen." Hier also wagt es Eckhard, nachdem er unfähig gewesen, die vorhandenen Thatsachen zu constatiren, kurz und gut mich der Unredlichkeit anzuklagen, zu verstehen zu geben, dass ich die beschriebenen Versuche wohl erfunden haben möchte! Wozu, frage ich, in ehrlich wissenschaftlichem Kampfe so schnöde Waffen? Wird Fehl und Irrthum Wahrheit, wenn er der edlen Würde sich entschlägt und mit Verleumdung sich verschwistert? — Nicht genug! setzt listig darauf Eckhard noch hinzu: „Eine Bemerkung noch kann ich jedoch hier nicht unterdrücken; die Frage nämlich, weshalb die in Rede stehende Behauptung nur in der ersten Mittheilung erscheint, in welcher nur von solchen Versuchen die Rede ist, bei welchen die Schätzung der Zuckung dem blossen Anschein nach geschah; weshalb hat uns Herr Dr. Pflüger nicht die Resultate seiner Messungen am Myographion mitgetheilt und aus welchem Grunde verschweigt er die Sache in seinem Hemmungsnervenvensystem, wo er doch sorgsam alle Blätter des für ihn zu windenden Lorbeerkranzes zusammengetragen?" Hierauf Folgendes: Ich habe im Hemmungsnervensystem diejenigen Arbeiten von mir erwähnt, die in einer bestimmten Beziehung standen zu den dort behandelten Fragen. Was damit nicht zusammenhing, wurde natürlich übergangen. In der zweiten Mittheilung aber, wo ich die Versuche mit Hülfe des Myographions machte und mich des Oeffnungsschlages einer Inductionsvorrichtung bediente, habe ich allerdings Nichts gesagt von der asymptotischen Abnahme des Erregbarkeitszuwachses mit der Entfernung von dem constanten Strome, was ich in der ersten Mitheilung behauptete, wo ich mich als Reiz der Schliessung einer Kette bediente. Dies hat allerdings seinen guten Grund, aber einen anderen als Eckhard vermuthete. Arbeitet man nämlich mit einer Kette als Reizmittel, so findet man, dass es sehr leicht ist, durch Einschaltung von Widerständen und Nebenschliessung die Grösse der Zuckung innerhalb der hier nothwendigen Grenzen zu beherrschen, selbst wenn die Schliessung nur mit der Hand in Quecksilber mit amalgamirten Hacken ausgeführt wird. Versucht man aber

die Zuckung mit dem Oeffnungsschlag ähnlich zu beherrschen, so zeigt es sich, dass dies nicht geht, indem bald grosse, bald kleine Zuckungen unter scheinbar denselben Verhältnissen auftreten. Das ist nun der Grund, weshalb ich damals den feinern Gang des Verlaufs der Curve der veränderten Erregbarkeit mit Hülfe des Inductionsstroms nicht zu bestimmen vermochte und obwohl ich überzeugt war, dass er sich auch so müsse erweisen lassen, doch schwieg, um in keiner Weise mehr zu sagen, als mich die Thatsachen gelehrt hatten. Ich publicirte die Resultate, weil mich eine längere Unterbrechung der Fortsetzung der Versuche entzog, zu denen ich erst später zurückkehren konnte. Nun sind die Mittel gefunden, durch den Inductionsstrom die Zuckung zu beherrschen, und nun ist auch für ihn das gleiche Gesetz wie bei der Kette erwiesen. Das ist die Sache! —

Eckhard wendet sich dann zu einer Erörterung, die von theoretischer Seite her meine Angaben entkräften soll.

„Ich will", sagt er, „die Kritik dieses Punktes damit beschliessen, aufzuzeigen, dass auch für die Vorstellung gewisse und zwar nicht unbedeutende Schwierigkeiten erwachsen, wenn man an die Richtigkeit der Pflüger'schen Angaben in ihrem ganzen Umfange glaubt", während vorher, wie sich der Leser erinnert, Nichts einfacher, Nichts natürlicher war, als dieselben so auszusinnen, wie ich sie machte. „Nehmen wir also an, es seien dieselben experimentell ausser allen Zweifel gestellt und analysiren wir folgenden Fall. Es werde, wie Fig. 3. (S. unsere Fig. 2.) zeigt, der Nerv von einem aufsteigenden Strome durchflossen. Dann sind die Zuckungen auf der Nervenstrecke von der positiven Electrode nach dem Muskel hin geschwächt und zwar in der Art, dass die durch Reizung der kleinen Strecke ab entlockte Zuckung kleiner als die der durch cd und die durch Reizung dieser kleiner als die der durch ef u. s. w. ausfällt. Dies heisst: die Schicht ab bietet der Erregung des Innervationsvorganges einen grösseren Widerstand dar, als die cd und diese einen grösseren als ef u. s. w. und daraus folgt (?) der Satz: dass in dem Maasse, als wir der Erregung des Innervationsvorganges Wider-

stand bietende Schichten **ausschalten**, die Grösse der Zuckung **wächst**.

„Vergleichen wir hiermit das Resultat der Analyse des Versuches, den die Fig. 4. (S. unsere Fig. 3.) darstellt. Bei der Reizung der Strecke ab fällt während des Schlusses des constanten Stromes die Zuckung schwächer aus, als bei offener Kette, ebenso bei der jeder weiter von der positiven Electrode abgelegenen Strecke, nach Behauptung in der Weise unterschieden, dass mit dem Vorschreiten in jener Richtung die Zuckung an Grösse zunimmt. Nach Versuch 3 bieten die einzelnen kleinen Nervenstrecken Widerstände, deren Grösse von der positiven Electrode aus abnimmt, aber keine ist unter ihnen, welche die Erregbarkeit erhöhte. Da sich nun wohl Niemand so zu der Annahme verstehen wird, dass eine Nervenstrecke, wenn sie direct gereizt wird, Widerstand biete, diese Eigenthümlichkeit aber aufgebe, wenn der bereits an einer anderen Stelle erregte Innervationsvorgang sich durch sie hindurchpflanzen soll; so kommen wir zu dem Schlusse: in dem Maasse als wir der Erregung des Innervationsvorganges **Widerstand** bietende Schichten **einschalten, wächst** die Zuckung. Dies Resultat stimmt nicht nur nicht mit dem vorigen, sondern wir würden sogar das Gegentheil erwarten. Um diesen Widerspruch zu heben, kann man allerdings annehmen, dass der motorische Nerv sich von der positiven Electrode aus nach dem centralen Ende hin anders verhalte, als nach dem peripherischen hin.“ Das Alles ist nicht nöthig. Wie mir recht klar aus dieser Eckhard'schen Betrachtung hervorgeht, hat er sich die Dinge doch so wenig zurecht zu legen gewusst. Wäre nichts als diese Thatsache zu erklären, wie leicht würde es mir sein, wie ich bereits früher Funke brieflich mittheilte, die Erscheinungen in die schönste Harmonie zu bringen mit du Bois-Reymond's Lehre vom Electrotonus. Warum fiel Eckhard nicht bei Behandlung der Frage das Magnetnadelschema du Bois-Reymond's ein? — Es giebt ja unmittelbar die Erklärung, so zwar, dass man aus ihm das von mir beobachtete Gesetz hätte a priori ableiten können. Denken wir uns eine sehr lange

Reihe von Magnetnadeln aufgehängt, so dass alle ihre magnetischen Axen in einer geraden Linie liegen, die mit dem magnetischen Meridiane zusammenfallen möge. Sie kehren sich also alle ihre freundlichen Pole zu. Lassen wir nun an einer Stelle in der Nähe der Nadeln und mit ihren Axen parallel einen electrischen Strom vorbeifliessen und denken wir uns denselben so stark, dass er die nächsten Nadeln zu sich fast senkrecht stelle, also dass ihre Axe zusammenfalle mit dem magnetischen Aequator. In Folge der Fernwirkung der Nadeln und der Kraft des Stromes werden nun auch die entfernteren Nadeln abgelenkt werden, um so mehr, je näher dem Strome, um so weniger, je weiter sie von ihm entfernt sind. Sei uns dieser Zustand der veränderten Stellung der Nadeln nun ein Bild des Electrotonus, jener wunderbaren veränderten Gleichgewichtslage des Nervenmaterie. Lassen wir dann einen zweiten Strom dem ersten parallel in der Nähe des ersten vorbeifliessen, so wird dieser keine Bewegung in dem Systeme hervorzubringen vermögen, weil die Nadeln ja bereits senkrecht auf ihn stehen, wodurch seine Wirkung paralysirt ist; denn seine Componente ist jetzt ein Minimum! Entfernen wir uns aber mit unserem zweiten Strome von dem ersten und lassen nunmehr den den Nadeln parallelen Strom auf die entfernten einwirken, so wird er sie mächtig antreiben, sich auf ihn senkrecht zu stellen. Seine Componente ist jetzt ein Maximum; die entstandene Bewegung muss sich aber — das ist klar — wegen der Fernwirkungen der Nadeln auf einander ganz nothwendig durch das ganze System fortpflanzen. Denn die Lage einer gegebenen Nadel hängt ab von den Lagen aller anderen. Sobald sich eine verschiebt, müssen alle verschoben werden. Das ist aber offenbar genau die Mechanik, welche dasselbe leistet, wie mein Gesetz. Freilich ist hier von Widerständen, die Eckhard so nothwendig annimmt, keine Rede. Die unmittelbar gereizte Magnetnadel bewegt sich nicht, sie leitet aber die eingeleitete Bewegung fort. Dies mag genügen, um zu zeigen, dass wenigstens mein Gesetz auf keine Absurdität in mechanischer Beziehung führt, wie es Eckhard bei seiner Auffassung offenbar glaubte. Ich

werde indessen am Schlusse des Werkes nochmals auf die Besprechung der Molecularhypothese zurückkommen. Eckhard fährt nun fort:

„Diese Art der Betrachtung ist nicht ungeeignet, von theoretischer Seite her auch einige Zweifel an dem ersten Theile der Behauptung anzuregen, auf welchen wir hiermit noch einmal zurückkommen. In Fig. 5. (S. unsere Fig. 4.) ist die Erregbarkeit durch den constanten Strom auf der Strecke ab herabgesetzt. Der Grund davon muss auf ihr selbst allein oder auf ac liegen und muss daselbst die zu Grunde liegende Beschaffenheit des Nerven so stark entwickelt sein, dass sie durch die erhöhte Erregbarkeit abwärts von der negativen Electrode nicht aufgehoben werden kann. In Fig. 6. (S. unsere Fig. 5.) reicht die Nervenstrecke erniedrigter Erregbarkeit vom Muskel an bis zur negativen Electrode a. Wie sehr müsste die Erregbarkeit der kleinen Nervenstrecke ab erhöht sein, wenn all die abwärts liegenden Widerstände überwunden und noch eine stärkere Zuckung stattfinden sollte!“ Ich kann darauf nur sagen: Es ist so! Und hiermit schliesst die Kritik. Eckhard aber ist nicht zufrieden, sondern erdreistet sich nun zu der anmassenden Bemerkung:

„Doch genug davon. Ich glaube, der Leser wird sich hinlänglich überzeugt haben, dass die Methode des Herrn Dr. Pflüger nicht den Anforderungen der Kritik genügt.“ Nachdem sich also bis hierher Herr Eckhard in einem Wirrwarr von falschen Thatsachen, irrigen Schlüssen und Trivialitäten aller Art herumbewegt hat, krönt er sein Werk noch in dieser Weise. — Die Thatsachen werden zwischen uns richten! Ich aber kann diesem Gerichte mit Ruhe entgegensehen.

Endlich bleiben noch einige Punkte zu erledigen, in denen mir Eckhard vorwirft, ihm Unrecht gethan zu haben, weshalb ich mit einigen Worten hierauf zurückkommen muss: Eckhard sagt:

I. „Er (nämlich Pflüger) beschuldigt mich, dass ich mich für den Entdecker der in Rede stehenden Phänomene ausgegeben hätte, während doch, der historischen Wahrheit getreu, Valentin die Ehre der Entdeckung zukomme. Herrn

Dr. Pflüger diene zur Nachricht (!), dass die betreffende Abhandlung in meinen Beiträgen mit einer Geschichte dieses Gegenstandes beginnt, in welcher gezeigt ist, dass Nobili das Grundphänomen zuerst beobachtet hat. Die Art, in welcher ich gerügt werde, Valentin als Entdecker auf diesem Gebiete, der er übrigens gar nicht ist, übergangen zu haben, ist zu spasshaft, um im Ernst darauf anworten zu können, denn ich hege die Zuversicht zu allen Physiologen, dass sie wegen der Art, in welcher ich Herrn Prof. Valentin erwähnt, mich nicht der Unredlichkeit beschuldigen werden."

Seltsam! — Seltsam! — Eckhard benachrichtigt mich über das, was in seiner Abhandlung steht, mich, von dem er doch wohl weiss, dass leider für ihn seine Abhandlung mir nur zu genau bekannt ist. Ich muss also wohl einen Grund gehabt haben, Valentin als den Entdecker des Lähmungsversuches zu bezeichnen. Nobili sah Froschpräparate in Tetanus verfallen; ob aus einer Ursache des Muskels oder des Nerven wusste er nicht. Denn er sagt ja, dass sie aus unbekannten Gründen in Tetanus verfielen. Die Frösche beruhigten sich, wenn er einen galvanischen Strom durch sie hindurchleitete, wobei also der Strom durch Nerven und Muskel ging; — ob der Strom hier die Nerven, ob die Muskeln beruhigte, das wusste er nicht gewiss. Valentin hat gezeigt, dass durch eine vom constanten Strom durchflossene begrenzte Nervenstelle die auf eine andere centrale Nervenstelle ausgeübte Reizung sich nicht nach dem Muskel fortzupflanzen vermag. Valentin also erst hat bewiesen, wie jenes Phänomen aufzufassen sei. Will man aber den trefflichen Nobili, der die erste Beobachtung des Gebietes gemacht hatte, ehren, so mag man ja Beide als Entdecker bezeichnen, während wir Anderen nur weiter jene Entdeckungen verfolgt haben. Herr Eckhard aber thut Unrecht, wenn er auch noch in seiner Kritik so auftritt, als habe er das Gebiet geschaffen, während er ihm nur eine Thatsache übermacht hat, nämlich die Erhöhung der Erregbarkeit vor dem absteigenden Strome. Ich tadelte aber Eckhard, weil er in seiner grossen Abhandlung Valentin, der ungleich grössere Verdienste als er um die

Frage hat, in einer Anmerkung abfertigt mit der Bemerkung, dass jener Forscher auch einmal einige den Gegenstand betreffende Fragen unter den Händen gehabt habe. Hier, wo es auf historische Gerechtigkeit und Wahrheit ankommt, kann von einer Spasshaftigkeit, die Eckhard meinem Tadel entgegensetzt, keine Rede sein. Suum cuique!

Sodann beschwert sich Eckhard hiernach zweitens, dass ich von seinen Irrthümern in Betreff der Innervation der Lymphherzen in meinem Buche über das Hemmungsnervensystem für die peristaltischen Bewegungen der Gedärme gesprochen hätte, indem er angiebt, dass er sich seiner Irrthümer nie schäme. Dieser Umstand musste in der dort behandelten Geschichte aufgenommen werden; und meine Schuld ist es nicht, dass auch hier nichts Schmeichelhaftes für Eckhard gesagt werden konnte.

Drittens und schliesslich klagt Eckhard: „Er (Pflüger) behauptet, dass nur der Vernachlässigung einer gehörigen Würdigung der Stromstärke von meiner Seite und natürlich somit durch seine Entdeckung die Widersprüche zwischen meinen früheren und späteren Arbeiten ihre Deutung finden. Nun bitte ich den Leser, sich doch des Factums in dieser Angelegenheit zu erinnern. Im ersten Aufsatz nämlich hatte ich nicht besonders erwähnt, dass bei absteigendem Strome unterhalb der durchflossenen Strecke die Erregbarkeit erhöht sei; man musste im Gegentheil schliessen, dass auch auf dieser Strecke der Strom seine lähmende Wirkung geltend mache. In meinen Beiträgen habe ich später gesagt, dass ich damals zwar schon einen Theil der Thatsachen gekannt hätte, welche für eine Erhöhung der Erregbarkeit gesprochen hätten, dass ich aber wegen dieses sonderbaren und gänzlich abweichenden Verhaltens noch den geheimen Verdacht gehabt, ich möchte einem Irrthum verfallen sein. Dies der von Pflüger angedeutete Widerspruch zwischen meinen früheren und späteren Arbeiten.“ Eckhard irrt! Wie könnte ich das wohl gemeint haben? Nein! Auf Seite 30 der Beiträge zur Anatomie und Physiologie Heft I. sagte Eckhard: „Zwar sagte ich in meiner ersten Mittheilung, dass der ab-

Digitized by Google

steigende Strom bei der in Rede stehenden Anordnung sicherer als der aufsteigende lähme; (der Reiz war oberhalb des constanten Stromes. Ref.) allein nachdem ich die Versuche in grösserer Anzahl und unter Anwendung nicht polarisirbarer Electroden angestellt habe, möchte ich dies nicht mehr behaupten, indem bald die eine, bald die andere Stromesrichtung den erregten Muskel sicherer zur Ruhe zwingt. Vielleicht ist diese Nichtübereinstimmung ausser durch den bereits angemerkten Umstand auch noch durch Modificationen der Erregbarkeit durch die geschlossene Kette bestimmt." Das ist, was ich meinte und nur gemeint haben konnte; denn ja nur bei Reizung oberhalb des aufsteigenden Stromes kommt für den qualitativen Erfolg die Stromesstärke in Betracht, auf welche ich ja in jener Bemerkung hinwies. Eckhard mag ganz recht gesehen haben, dass mitunter der aufsteigende Strom bei dem in Rede stehenden Versuch seine lähmende Wirkung nicht zeigte; deshalb weil er einen schwachen Strom hatte, wo natürlich ja die Erregbarkeit oberhalb des Stromes im Nerven noch erhöht ist, während sie bei absteigendem stets herabgesetzt wird. Nur bei sehr starken Strömen kommt dem aufsteigenden Strome in der That eine eminent lähmende Wirkung zu. So erklären sich einfach Eckhard's widersprechende Resultate, die ich gemeint hatte und nur gemeint haben konnte.

Ich beschliesse hiermit diese kritische Darstellung der Geschichte unseres Gegenstandes, in soweit sie sich auf die Wirkungen des constanten electrischen Stromes während seiner Dauer bezieht. Ich habe in derselben mit unbedingter Strenge das Gute vom Schlechten zu scheiden gesucht, wie es die Pflicht einer wissenschaftlichen Kritik fordert, für die Nichts massgebend sein soll, als die Wahrheit. Ein ernster und strenger Richter aber wird zugeben, dass dieses so wenig dankbare Geschäft von mir mit grösster Schonung der Persönlichkeiten geübt worden ist.

Fortsetzung der Geschichte.

Zur Geschichte der Nachwirkungen des constanten Stromes.

Wenn ich in diesem Werke auch auf die Geschichte der Nachwirkungen des constanten Stromes eingehe, so darf dies nicht geschehen, ohne dass ich mich ausdrücklich darüber verantworte, darum nämlich, weil die über diesen Gegenstand von mir angestellten Untersuchungen in ihrer Ausdehnung durchaus nicht denen vergleichbar sind, welche die Wirkungen des Stromes während seiner Dauer betreffen. Letztere haben den Gegenstand soweit erschöpft, dass ich behaupten darf, hier die fundamentalen Principien auf festen Grundlagen aufgeführt zu haben, auf welchen fortgebaut werden kann. Hier sind die allgemeinen Gesichtspunkte gefunden, weil alle Erscheinungen in ihrem wunderbaren Wechsel gleichsam einem allgemeinen Gesetze unterworfen worden sind. Das ist für die Nachwirkungen weniger der Fall. Sie sind hauptsächlich in derjenigen Richtung von mir behandelt worden, welche nothwendig bekannt sein musste, wenn die Wirkungen des constanten Stromes während seiner Dauer genauer erkannt werden sollten, weil sich nämlich jene Nachwirkungen fortwährend einmischen. Das Gebiet der Nachwirkungen selbst in der Bedeutung, wie es aufgefasst werden muss, ist aber eine Arbeit für viele Jahre eines eifrigen Forschers, der seine ganze Musse diesem hochwichtigen Theil der allgemeinen

Nervenphysiologie widmen kann. Gleichwohl habe ich durch jahrelangen Umgang mit Reizversuchen in Bezug auf die Nachwirkungen des constanten Stromes, ohne es zu suchen, so Vieles beiläufig gesehen und erfahren, dass ich darum in verschiedener Beziehung Andeutungen und Winke geben zu können glaube, wo und wie zunächst der Gegenstand am vortheilhaftesten angreifbar ist. Ich behandle demnach in dieser kurzen Geschichte desselben hauptsächlich diejenigen Punkte, von welchen ein solcher Ausgang stattfinden muss.

Man hat hereits früher, d. h. in den ersten Zeiten des Galvanismus die Wahrnehmung gemacht, dass die Einwirkung des electrischen Stromes auf die Nerven sich nicht nur auf die Zeit seiner Dauer beschränkt, sondern dass nach seiner Oeffnung der Nerv in einem mehr oder weniger veränderten Zustande hinterbleibt. Diesen durch den Strom hervorgebrachten veränderten Zustand nannte man aber bis heute „die Modification der Erregbarkeit des Nerven durch geschlossene Ketten." Wir halten diese Bezeichnung nicht für besonders empfehlenswerth, weil sie nur einen speciellen Fall, nicht aber das gesammte hier in Betracht kommende Gebiet der Erscheinungen umfasst; denn der Begriff „Erregbarkeit" bezeichnet nichts anders als einen gegebenen Zustand des Nerven, vermöge dessen er fähig ist, in den Zustand der Reizung überzugehen, wenn ein gegebener Impuls diesen Zustand zu verändern sucht. Der Nerv könnte also in seiner Erregbarkeit noch so sehr gesteigert sein, ohne dass er darum von selbst in Tetanus verfallen könnte. Der Strom aber hinterlässt gewisse Zustände gestörten Gleichgewichtes der Molecularconstitution des Nerven, deren Ausgleichung oder Rückkehr zur Ruhelage mit Zuckungen verknüpft ist, ohne dass hierfür von einem äusseren Reize die Rede sein könnte. Wir bedienen uns darum des Ausdrucks der „Nachwirkungen des electrischen Stromes" für jene Zustände, welche dereinst eine grosse Wissenschaft abgeben werden.

Die erste hierher gehörige Thatsache ist aber offenbar die Oeffnungszuckung des auf- und absteigenden Stromes, welche von Valli und Fowler (Reinhold's Geschichte des Galvanismus u. s. w. 1792. p. 35) zuerst bemerkt worden ist,

während von Rutherford der Oeffnungsblitz, von Robison die Oeffnungsempfindung gesehen worden zu sein scheint. (Al. Monro's und Richard Fowler's Abhandlung 1793. p. 57; du Bois-Reymond, Untersuchungen. Bd. I. p. 310.) Volta sowohl als Pfaff war die Bedeuturg der Oeffnungszuckung offenbar entgangen, da der ersere sie entstehen lässt „durch das Zurückbäumen des im Schlusse begriffenen electrischen Stromes gleich einer Welle“, (Volta, Collezione dell' Opere. T. II. p. II. Brief an Banks 119. — Memoria sull Idendita p. 219), während Pfaff die Ursache „in der plötzlichen Wiederherrstellung des natürlichen electrischen Gleichgewichts der Kette suchte, welches während der Dauer des Schlusses gestört sei.“ (S. Pfaff, über thierische Electricität und Reizbarkeit p. 76 u. ff.)

Der erste, welcher die Bedeutung der Oeffnungszuckung mit tiefreichendem Scharfblick erkannte, war unser Ritter, der in ruhmwürdigem Streben wie kein Anderer dieses Gebiet gekannt hat, selbst aber verkannt wurde, weil seine Zeitgenossen der überlegenen Feinheit seiner Beobachtungen bei so beschränkten Mitteln bei Weitem nicht zu folgen vermochten.

Ritter sagt in Bezug hierauf in einfach schlichter und doch so wunderbar tiefer Weise: „Wir haben die Phänomene bei der Trennung der Kette galvanischer Batterien einen Gegenstand von ganz eigenthümlicher Wichtigkeit genannt Wir kommen daran, dies zu rechtfertigen. Es geschieht in der einzigen Erwägung des grossen Umstandes, dass sie eintreten, im Augenblick, wo der organische Körper und seine Theile dem Einfluss der Batterie so eben entzogen werden. Sie können also auf keine Weise eine directe Wirkung der Batterie mehr sein, denn wie sollte doch diese dergleichen vermögen, da sie nicht mehr gegenwärtig ist? — Der in ihrer Kette gewesene Organismus selbst muss sie geben und dass er sie giebt, kann bloss darin liegen, dass er eben in jener Kette war, denn ohne dies hätte er sie nicht gegeben.“ (S. Ritter's Beiträge zur näheren Kenntniss des Galvanismus, Stück I. p. 78 u. ff. 1802.) Aehnliche Ansichten von geringerer Tiefe als die Ritter's über diese Ursache haben Er-

man (Gilbert's Annalen der Physik. 1806. Bd. XXIII. p. 30), sowie Dumas aufgestellt (S. Traité expérimental t. IV. 1836. p. 284. §. 968). Ritter stellte sich demgemäss vor, dass ein durch den Strom erzeugter eigenthümlicher Zustand verschwinde, welches Verschwinden von einer Zuckung begleitet sei, wie jede Störung des inneren Gleichgewichts des Nerven. Die Ritter'sche Erklärung ist seitdem von allen Forschern acceptirt worden.

Ich erinnere hier noch an ein von mir beobachtetes sonderbares Verhalten der Oeffnungszuckung, welches jene Interpretation derselben zur Evidenz beweist. Wenn man nämlich den tieferen Theil des Ischiadicus der Rana esculenta, also den zwischen dem Abgange der Oberschenkeläste und Kniebeuge gelegenen Theil, besonders an einer längeren Strecke von 5—8 Mm. auf das Verhalten des Zuckungsgesetzes mit schwachen Strömen prüft, bei welchen bekanntlich bereits beim absteigenden Strome die Oeffnungszuckung sehr früh eintritt, während ein gleich starker, aber aufsteigender Strom dann nur Schliessungszuckung zeigt, so beobachtete ich nicht selten die merkwürdige Erscheinung, dass die Oeffnungszuckung dem Augenblicke der Oeffnung des absteigenden Stromes um eine sehr lange Zeit nachfolgt, die oft mehrere Secunden beträgt. Ich habe dies sehr oft wahrgenommen und mich überzeugt, dass keinerlei Irrthum dabei vorgefallen war. Die Zuckung selbst aber geschieht dem Anscheine nach so schnell wie sonst. Es lässt sich aber unter andern Umständen eine Verlangsamung der Zuckung mindestens scheinbar wahrnehmen, ohne dass doch das Stadium der latenten Reizung unmittelbar sichtbar würde. So folgt oft bei Fröschen, welche sehr erkältet worden sind, dem Reize eine äusserst langsame Zuckung, wobei der Muskel sehr träge emporsteigt und dann wieder herabsinkt. Die Dauer einer solchen Zuckung beträgt dann mehrere Secunden. Ganz sicher ist freilich nicht ausgeschlossen, dass es sich hier um eine tetanische Contraction handle, welche aus denselben Ursachen entspringt, wie der von mir später besprochene Tetanus beim Erwärmen eines durch und durch erkälteten Nerven. Jene Zuckung

bleibt so langsam, selbst bei den schwächsten Reizen, die bei Weitem nicht das Maximum der Zuckung herbeiführen. Ist dieselbe als Zuckung aufzufassen, so würde sie analog sein, der Verlangsamung der Fortpflanzung der Reizung im sehr erkälteten Nerven, welche Helmholtz entdeckte. Wurde nun der Strom durch höhere Stellen des Ischiadicus geleitet, so habe ich niemals jene Erscheinung der später eingetretenen Oeffnungszuckung wahrgenommen, sowie sie bei aufsteigendem Strome ebenfalls stets augenblicklich mit der Oeffnung der Kette eintritt. Merkwürdig war dabei, dass das Phänomen nach mehrmals wiederholtem Schliessen sich änderte, indem die Oeffnungszuckung dann immer schneller und schneller der Oeffnung folgte, bis endlich kein Intervall mehr zu bemerken war. Dass sich in diesem Falle die von Helmholtz entdeckte latente Reizung des Muskels verlängere oder das Nervenprincip sich langsamer fortpflanze, wird Niemand glauben wollen. Ob die Fortpflanzungsgeschwindigkeit hier wirklich so verringert sei, liess sich nicht erweisen, weil das Phänomen mit jeder Schliessung sich bedeutend abänderte und die vom Muskel entfernteren Stellen es mir niemals dargeboten haben. Es bleibt keine andere wahrscheinliche Annahme, als dass jener veränderter Gleichgewichtszustand, der während der Dauer des Stromes vorhanden ist, diese noch beträchtlich überdauert und später erst plötzlich nach dem natürlichen Zustande zurückgeht, etwa wie ein im labilem Gleichgewichte befindliches Pendel, das, um ein Weniges verrückt, nun erst sehr langsam, dann aber sehr schnell der stabilen Gleichgewichtslage zustrebt.

Es spricht aber für die Ritter'sche Deutung der Oeffnungszuckung noch die seit lange bekannte Thatsache, dass dieselbe wenigstens beim aufsteigenden Strome um so mächtiger ausfalle, je länger die Dauer der Schliessung war, da die Theilchen aus ihrer natürlichen Lage um so mehr verrückt werden, je länger der Strom den Nerven durchfliesst, so dass also bei der Oeffnung die Theilchen eine noch grössere Veränderung der Lage vorzunehmen haben, als sonst, um ihre alten Stellungen wieder einzunehmen. Man könnte

freilich einwenden, dass möglicherweise die Erregbarkeit des Nerven durch den Strom so erhöht werde, dass nun die unbekannte Ursache um so mächtiger wirksam werde, je länger der Strom geschlossen gewesen sei. Wir werden indessen nunmehr sofort eine Erscheinung kennen lernen, welche, ebenfalls von Ritter gefunden, auch diese Erklärung widerlegt. Es ist dies der nach Ritter benannte Oeffnungstetanus des aufsteigenden Stromes. Ritter gab über denselben zunächst folgende Bestimmungen: Wenn man einen Froschnerven von einem absteigenden Strome durchfliessen lasse, während der andere Schenkel in einer offenen Kette lag, so wird der durchflossene seine Reizbarkeit weit eher einbüssen, als der andere. War aber der Schenkel aufsteigend längere Zeit durchflossen, so verfällt er bei der Oeffnung in Tetanus, welcher aber sofort zum Verschwinden gebracht werden kann, wenn man die Kette auf's Neue schliesst. (S. Ritter, Beweis, dass ein beständiger Galvanismus den Lebensprocess in dem Thierreich begleite. 1798. p. 119—121.)

Eine interessante Form des Versuches ist folgende: Man lasse beide Schenkel so in dem Kreise, dass der eine auf-, der andere absteigend durchflossen ist, längere Zeit, z. B. etliche Stunden, liegen; der absteigend durchflossene wird schon sehr geschwächt, vielleicht schon ganz unerregbar sein, indessen der aufsteigend durchflossene die erzählten Spannungserscheinungen giebt. Sehr bemerkenswerth ist nun die schon von Ritter gemachte Beobachtung, dass bei Umkehr der Strömungsrichtung in einem so modificirten Präparate von dem auf die Oeffnung der Kette so lebhaft reagirenden, bisher aufsteigend durchflossenen Schenkel die Erregbarkeit jetzt so scheidet, dass nun bald der früher absteigend, jetzt aufsteigend durchflossene Schenkel stärkere Reaction zeigt nicht allein als der andere, sondern als er selber früher hatte. Wenn nämlich zu Anfang des Versuches beide Schenkel bei Schliessung und Oeffnung ziemlich gleich starke Zuckungen geben, so nehmen allmällg die Schliessungszuckungen im absteigend durchflossenen Schenkel mit den Oeffnungszuckungen ab, während die Oeffnungszuckung des aufsteigend durchflos-

senen Schenkels in mächtiger Zunahme begriffen ist; „ja zuletzt hört alle Zuckung beim Schliessen im absteigend durchströmten Schenkel auf, desto stärker aber erscheinen sie bei der Trennung in a, (dem jetzt aufsteigend durchflossenen Schenkel), wo sie bald in das anhaltende Spannen übergehen.“ Jetzt kehre man den Strom um; bei der Schliessung wird der früher aufsteigend, jetzt absteigend durchflossene Schenkel sehr stark contrahirt, und bei der Trennung bleibt der früher absteigend, jetzt aufsteigend durchflossene Schenkel ruhig. Nach einiger Zeit aber giebt der früher aufsteigend, jetzt absteigend durchflossene Schenkel schwächere Schliessungszuckung, und an dem früher absteigend, jetzt aufsteigend durchflossenen Schenkel erscheinen wieder schwache Trennungszuckungen, welche nach und nach zunehmen, so wie jene abnehmen, und endlich erscheinen nur starke Trennungszuckungen oder Spannungszustand in dem jetzt aufsteigend, früher absteigend durchströmten Schenkel, während in dem andern die Schliessungscontractionen aufhören. Man ändert jetzt die Ordnung der Excitatoren wiederum, d. h. wendet den Strom; der umgekehrte Process beginnt von Neuem, und so lässt sich dieses Spiel, wenn man Geduld hat und die Erregbarkeit des Organs nicht darüber zu Grunde geht, mehrere Male fortsetzen. (S. Ritter, Beweis etc. p. 123 u. 124.)

Veränderte nun Ritter in dieser Weise die Erregbarkeit des Nerven durch nur thierische Ketten, so hinterblieb in dem aufsteigend durchströmt gewesenen Schenkel, nachdem die Spannungserscheinungen vorübergegangen sind, ein Zustand von absolut erhöhter Erregbarkeit, da der modificirte Nerv durch Reizung mit nur thierischen Ketten „oft noch heftiger, als es bei sehr hohen Graden natürlicher Erregbarkeit zu geschehen pflegt“, gereizt wird. Diese Erscheinungen halten nach Ritter mehrere Minuten, bisweilen Viertel- und halbe Stunden an, woraus man also erkennt, dass Ritter auch die Rückkehr des Nerven aus jenem veränderten nach dem früheren Zustande wahrgenommen und besonders die Trägheit dieser Rückkehr beobachtet hat. (Ritter a. a. O. p. 125 u. 126.)

Digitized by

„Merkwürdig ist es," fährt Ritter fort, „dass die durch positive galvanische Reizung (Modification durch den absteigenden Strom) bewirkte Unterdrückung oder Vernichtung der Nervenreizbarkeit nur örtlich ist, genau so, wie von der Wirkung mancher deprimirender sogenannter chemischer Körper im §. 7. bemerkt wurde, und wie man es von dem Absterben der bloss der Einwirkung der Luft ausgesetzten Nerven wahrnimmt. So wie nämlich in dem letzten Falle man den Nerven unterhalb der der Luft ausgesetzt gewesenen, aber abgestorbenen Stelle, wenn man ihn weiter heraus präparirt, noch, und oft noch sehr, reizbar findet und wie man — — nur das in der schädlich einwirkenden Flüssigkeit gewesene Nervenstück todt findet, indess das unterhalb derselben befindliche noch lebt, ebenso ist es auch der Fall bei galvanisch überreizten Nerven." (Ritter, Beweis a. a. O. p. 126 u. 127.) Denn wenn man bei Anlegung einer Electrode an den Muskel und der anderen an den Nerven keine Contractionen auf diese Weise von dem modificirten Präparate mehr erhält, so „geschieht es noch und ziemlich stark, wenn man den bisher im Oberschenkel befindlichen Theil des Nerven weiter heraus präparirt, so dass er unmittelbar in die Kette eintritt; die Reizung ist aber vergebens, sobald man ihn wieder bis an die vorige Stelle im Muskelfleisch einpackt, erscheint aber wieder, sobald man zwischen diesem Muskelfleisch und dem Orte, bis an welchen man den Nerven heraus präparirt hatte, ein auch noch so kleines Stück Nerv, was von allen Seiten mit Luft umgeben ist, als die einzige Zuleitung zwischen dem Fuss und diesem umhüllenden Muskelfleisch frei lässt." (S. Ritter, Beweis. p. 127.) — Wie oben die Unterdrückung oder Vernichtung der Nervenreizbarkeit durch den absteigenden modificirenden Strom mehr örtlich ist, so scheint es Ritter auch bei der sogenannten Erhöhung derselben durch den aufsteigenden Strom der Fall zu sein. Die Beweise, welche er hierfür vorbringt, sind folgende: Durchschneidet man den Nerven unmittelbar bei seinem Eintritt in den Muskel, während er so eben nach Oeffnung des lange geschlossenen aufsteigenden Stromes den heftigsten Tetanus erzeugt, so

Digitized by Google

verschwindet dieser augenblicklich, was ebenfalls dann geschieht, wenn nur der Nerv, also nicht auch wie gewöhnlich der Muskel, im Kreise des aufsteigenden Stromes war. Zweitens: Durchschneidet man den Nerven zwischen den Electroden, ohne dass Oeffnung der modificirenden aufsteigenden Kette entsteht, so bleibt der Muskel in Ruhe, verfällt aber bei Unterbrechung der Leitung zwischen beiden Schnittflächen augenblicklich in Tetanus, der aber sogleich wieder verschwindet, wenn der Nerv zwischen Muskel und modificirendem Strome durchschnitten wird. Bei Reizung mit nur thierischen Ketten endlich zeigt sich die erhöhte Erregbarkeit hauptsächlich in der aufsteigend modificirten Strecke, obschon auch Beobachtungen gemacht wurden, wo die zwischen positiver Electrode und Muskel in ihrer Erregbarkeit zugenommen zu haben schien. Ritter deutet dann an, dass er allerdings aus einigen beiläufigen Beobachtungen das Anzeichen erhalten habe, es möchten die Modificationen auch ausserhalb der unmittelbar durchflossenen Strecke auftreten können. Beschliessen wir hiermit die Discussion der ersten Arbeit Ritter's über die Modification der Erregbarkeit durch den constanten Strom.

Der Hauptsatz, zu welchem er gelangte, besteht mithin darin, dass der aufsteigende Strom die Erregbarkeit der durchflossenen Strecke erhöht, der absteigende sie herabsetzt.

Volta war inzwischen, dasselbe Gebiet betretend, zu anderen Resultaten gekommen, die darin bestanden, dass jede Stromesrichtung die Erregbarkeit für sich herabsetzt, für die entgegengesetzte erhöht. Denn, leite man einen Strom durch ein galvanisches Präparat so, dass der eine Schenkel auf-, der andere absteigend durchflossen ist, so verlieren sich allmählig um so mehr die Zuckungen in beiden Schenkeln, je länger die Kette geschlossen war. Kehrt man aber dann den Strom um, so erscheinen in beiden Schenkeln wiederum die lebhaftesten Zusammenziehungen der Muskeln. Auch diese Erscheinungen sollen sich oft mehrmals umkehren lassen. (S. Volta, Collezione dell' Opere. t. II. p. II. p. 219.) Diesen scheinbaren Widerspruch zwischen Ritter und Volta, demzufolge der letztere beiden Stromesrichtungen deprimirende

Eigenschaften zuerkennt, während der erste nur dem absteigenden Strome eine solche Wirkung beilegt, dem aufsteigenden aber eine exaltirende, erklärt sich zum Theil wie du Bois-Reymond glaubt aus einer späteren Behauptung Ritter's, der zufolge die von ihm beobachteten vorher beschriebenen Erscheinungen nur dann auftreten, wenn der Strom eine gewisse Stärke nicht überschreitet, während starke Ströme absolut deprimirend bei jeder Stromesrichtung wirken, ganz wie Volta angiebt und auch ich bestätigen kann. (S. du Bois-Reymond, Untersuchungen, Bd. I. p. 368 und Ritter's Beiträge, Bd. II. St. 3. 4. 1805. p. 124 u. ff.) Während Volta seine Wahrnehmung auch am eigenen Körper bestätigt zu haben glaubte, kam Ritter durch subjective Versuche zu dem Satze: „Die natürliche Empfänglichkeit eines Organs für den Schliessungsschlag wird auf der einen Seite der Batterie durch anhaltende Schliessungen geschwächt für diese Seite und erhöht für die entgegengesetzte; und die natürliche Empfänglichkeit für den Trennungsschlag wird auf der einen Seite der Batterie durch anhaltende Schliessung erhöht für diese Seite und geschwächt für die entgengesetzte. (S. Ritter, Beiträge, Bd. II. Stück 2. p. 89.)

Der nächste, welcher sich diesem Kreise von Thatsachen wieder zuwandte, war Marianini, welcher aufs Neue den Volta'schen Satz der einseitigen Lähmung durch den Strom sich zu prüfen vorsetzte, weil er vermuthete, dass das Volta'sche Gesetz, die sogenannten Voltaischen Abwechselungen, ein durch die Polarisation der Electroden erzeugtes Phänomen seien, mit einer Veränderung der Erregbarkeit der Nerven aber vielleicht in keinem Zusammenhang stehen. (S. Marianini. Annales de Chimie et Physique. T. 56. p. 387—428. 1834.) Mariarini überzeugt sich, dass die Polarisation allerdings von Einfluss auf die Erscheinung sei, gleichwohl aber das von Volta beobachtete Gesetz in Wirklichkeit bestehe.

Die neueste Bearbeitung dieses speciellen Gegenstandes, welcher sich auf den Ritter'schen Tetanus und die Volta'schen Abwechselungen bezieht, stammt von Rosenthal, welcher ein allgemeines Gesetz aufgestellt hat, das von einem grossen

Digitized by Google

Theile der hier zu beobachtenden Thatsachen Rechenschaft ablegt. Das Gesetz, welches diese umfasst, spricht Rosenthal so aus: „Jeder constante Strom, welcher eine Zeit lang einen motorischen Nerven durchströmt, versetzt denselben in einen Zustand, worin die Erregbarkeit für die Oeffnung des einwirkenden und Schliessung des entgegengeseten Stromes erhöht, dagegen für die Schliessung des ersteren und die Oeffnung des letzteren herabgesetzt ist.“

Die einzelnen Erscheinungen, aus welchen Rosenthal sein Gesetz ableitet, bestehen zunächst darin, dass der Oeffnungstetanus sofort verschwindet, wenn der modificirende Strom in gleicher Richtung mit dem früheren wieder geschlossen wird, während der umgekehrte Strom diesen Tetanus verstärkt durch und während seiner Schliessung. Der durch einen Strom bewirkte Oeffnungstetanus kann auch durch Schliessung eines schwächeren Stromes in gleicher Richtung besänftigt werden. Ebenso kann, wenn der Tetanus schon nachgelassen hat, derselbe auch durch Schiessung eines schwächeren Stromes, als der modificirende war, in entgegengesetzter Richtung wieder hervorgerufen werden.

Nach Rosenthal beherrscht dieses Gesetz sowohl den durch den auf- als den durch den absteigenden Strom herbeigeführten Oeffnungstetanus. „Sind die Präparate schon auf niederen Stufen der Erregbarkeit, so zeigt sich nur bei Oeffnung des einwirkenden und Schliessung des entgegengesetzten Stromes Zuckung, bei Schliessung des ersteren und Oeffnung des letzteren dagegen bleiben die Muskeln ganz ruhig. Der absteigende Strom zeigt sich auch hier weniger constant in seiner Wirkung, indem sich durch Combination mit dem Nobili'schen Gesetze das Verhalten zuweilen umkehrt oder sonst unregelmässig wird. Kehrt man, wenn jenes Verhalten eingetreten ist, die Stromesrichtung um, so zeigt sich, wenn die neue Stromesrichtung ohngefähr eben so lange geherrscht hat, als die frühere, zuerst nur Zuckung bei Schliessung in der ursprünglichen Richtung; dann bei längerer Einwirkung auch bei Oeffnung der nun bestehenden.“ (S. J. Rosenthal, Monatsberichte d. Kgl. Akademie d. Wissenschaften. 17. Dec. 1857.)

Ich kann nach eigenen Beobachtungen das Rosenthal'sche Gesetz bestätigen; es ist ihm nach meinen Erfahrungen noch eine Bedingung hinzuzufügen, der zufolge dasselbe nicht beobachtet wird, wenn die Stromstärke eine gewisse Grösse überschreitet. In diesem Falle habe ich eine höchst eigenthümliche Form des Oeffnungstetanus beobachtet. Leitet man nämlich einen starken Strom, d. h. einen solchen, der sogleich die tieferen Ritter'schen Stufen des Zuckungsgesetzes zeigt, durch einen Theil des Nerven selbst nur einige Sekunden, so folgt der Oeffnungszuckung, oft nachdem einige Zeit vollkommene Ruhe geherrscht hat, dann eine Reihe convulsivischer äusserst mächtiger Zuckungen, die selten die Form eines ruhigen stetigen Tetanus annehmen. Dieser Oeffnungstetanus ist vollkommen constant und besonders zur Demonstration geeignet, weil man ihn eben jeder Zeit augenblicklich hervorbringen kann. Je öfter man diesen Versuch wiederholt, um so länger dauert es, bis nach der Oeffnung jener Tetanus ausbricht, und um so mehr nimmt er an Stärke ab. Nach 4 - 8maligem Schliessen erscheint er endlich nach der Oeffnungszuckung gar nicht mehr. Kehrt man nun bei bestehendem, auf solche Weise erzeugtem Oeffnungstetanus die Stromstärke um, so verschwindet der Tetanus ebenso, als ob man den Strom wieder in gleicher Richtung geschlossen hätte, was für den aufsteigenden Strom besonders ganz augenfällig und ausnahmslos ist. Ich habe eine jenem Oeffnungstetanus wohl analoge Erscheinung selbst schon nach starken Inductionsschlägen beobachtet, denen eine Reihe heftiger Zuckungen folgte, ohne dass der Inductionsschlag etwa die getroffene Stelle vernichtet hätte, da sie auch nachher noch sehr reizbar war.

Der Oeffnungstetanus beruht offenbar, wie Ritter von der Oeffnungszuckung angiebt, auf einer Ausgleichung der durch den Strom im Nerven erzeugten Veränderungen, indem die Moleküle durch die inneren Kräfte zurückgeführt werden nach ihren natürlichen Lagen.

Wir haben bisher hauptsächlich diejenigen Nachwirkungen geschichtlich studirt, welche gleichsam dynamischer Art sind,

Digitized by Google

das heisst wirkliche Vorgänge von Bewegungen der Nervenmoleküle, deren Ursache der Strom durch seine Dauer und Stärke im Nerven hervorgerufen. Ihnen gegenüber haben wir noch derjenigen Nachwirkungen zu gedenken, welche sich im Nerven nicht unmittelbar erkennen lassen, weil sie, wie es scheint, Veränderungen der inneren Gleichgewichtslage der Moleküle darstellen, statische Veränderungen also, die sich uns erst durch Prüfung der Erregbarkeit des modificirten Nerven zu erkennen geben. Einige Beobachtungen Ritter's, welche sich hierauf bezogen, haben wir allerdings schon kennen gelernt, und wir schreiten nunmehr wiederum zurück zu diesem Forscher, um die von ihm in dieser Beziehung aufgestellten Gesetze zu betrachten, deren Studium auch ganz besonders dasjenige ist, welches uns in diesem Werke beschäftigen wird.

Nach meinen Untersuchungen freilich muss ich bekennen, dass hier Ritter in Ermittelung der Thatsachen nicht so glücklich war, als bisher und z. B. ganz besonders bei dem Gesetze der Zuckung, und hier wieder vorzüglich bei dem aufsteigenden Strom.

Denn nachdem er die exaltirende Wirkung des aufsteigenden Stromes, sowie die deprimirende des absteigenden für den Fall zurückgenommen, dass es sich um die höheren Stufen der Erregbarkeit handelt, wo die ersten Stadien des Zuckungsgesetzes zu beobachten sind, nämlich nur Schliessungszuckung für den aufsteigenden, nur Oeffnungszuckung für den absteigenden Strom, indem dann gerade das umgekehrte Verhalten für die Modification durch die verschiedenen Strömungsrichtungen stattfinde, nämlich Exaltation durch den absteigenden, Depression durch den aufsteigenden Strom erzeugt werde, (S. noch du Bois-Reymond, Untersuchungen, Bd. I. p. 370 u. 371), behauptet er nun später noch bestimmt, dass sich die Modification auch ausserhalb der vom Strom betroffenen Strecke nach dem Muskel zu fortpflanze. Denn bei aufsteigendem modificirendem Strom und einer späteren Stufe der Erregbarkeit sei die zwischen positiver Electrode und Muskel gelegene Strecke deprimirt, dieselbe bei abstei-

gendem Strome aber exaltirt, so dass sich also die Modification mit umgekehrtem Zeichen ausbreite von der unmittelbar durchflossenen Strecke nach dem Muskel zu. Diese Wirkungen sollen nicht eintreten, wenn der Nerv vorher unmittelbar unterhalb der modificirenden Kette unterbunden worden ist. Ritter sucht nun durch diese Thatsachen jene Fälle zu erklären, bei denen er früher die zwischen dem Muskel und der Kette gelegenen Theile des Nerven auch zur Erregung durch thierische Ketten passend gefunden hatte, wogegen du Bois-Reymond einwendet, wie Ritter übersehe, dass hier die sich fortpflanzende Modification von einerlei Zeichen gewesen sein müsste, wie die zwischen den Enden der Kette stattfindende, dass also doch noch ein ungelöster Widerspruch übrig bleiben würde. (S. Ritter, Gehlen's Journal für die Chemie, Physik und Mineralogie. 1808. Bd. IV. p. 421 und du Bois-Reymond, Untersuchungen, a. a. O. Bd. I. p. 372.)

Meines Erachtens liegt in dieser Angabe Ritter's nicht gerade ein Widerspruch, indem man sich ja denken könnte, dass die vom Strome unmittelbar betroffenen Moleküle eine andere Einwirkung erfahren, als diejenigen, welche nicht unmittelbar berührt, und nur secundär von den unmittelbar betroffenen aus durch die zwischen ihnen stattfindenden Beziehungen verändert werden. Es ist nun a priori nicht einzusehen, warum diese beiden durch verschiedene Ursachen hervorgebrachten Veränderungen nothwendig dasselbe Resultat haben sollten.

Es bleibt uns noch endlich nach diesen mehr allgemeinen Bestrebungen über das Gesetz der Nachwirkungen des constanten Stromes nunmehr noch der Einfluss der Modification auf das Gesetz der Zuckung zu betrachten. Derjenige, welcher meines Wissens auch hier die ersten und besten, wenn auch nicht ganz genauen Andeutungen gegeben hat, ist wiederum unser Ritter, indem er sagt, dass ein Frosch bei Untersuchung des Zuckungsgesetzes mit der Zeit sein Verhalten ändere, aber dabei immer von einer niederen zu einer höheren Sprosse seiner Stufenleiter des Zuckungsgesetzes übergehe; ja er giebt schon an, dass man durch starke Ströme schnell den

Digitized by Google

Zustand der Stufe V herbeizuführen vermöchte, demzufolge dann schwache Ströme das umgekehrte Gesetz der Zuckung zeigen, wie dieselben bei nicht modificirten Nerven thun würden, wie Heidenhain neuerdings und auch ich bestätigen können. Die Gesetze, welche Heidenhain (S. Beitrag zur Kenntniss des Zuckungsgesetzes; Archiv f. physiol. Heilkunde. 1857. p. 453.) für die Veränderungen des Zuckungsgesetzes aufstellt, sind folgende:

Für den aufsteigenden Strom und das Minimum der wirksamen Stromstärke erscheint ausnahmslos in Uebereinstimmung mit Ritter's Gesetz der Zuckung die Schliessungszuckung und keine Oeffnungszuckung, Heidenhain untersuchte während des Sommers das Zuckungsgesetz und hatte jedesmal die höheren Theile des Ischiadicus mit beträchtlicher Länge sammt den Muskeln im Kreise. Ich selbst habe das Zuckungsgesetz zu jeder Jahreszeit vor mir gehabt, wegen eines täglichen Verkehrs mit Reizversuchen an Froschpräparaten, bei welchen ich meist nur kürzere Nervenstrecken, gewöhnlich unter dem Abgange der Oberschenkeläste, dem Strome aussetzte und zwar stets nur die Nerven; gleichwohl habe ich in Tausenden von Versuchen niemals **eine** Ausnahme von der ersten Stufe des Ritter'schen Gesetzes wahrgenommen.

„Ermüdet man,“ sagt nun Heidenhain, „auf dieser Stufe den Schenkel durch häufiges Schliessen und Oeffnen des Kreises, so verringert sich allmählig die Stärke der Zukkung; sie schwindet zuletzt ganz, ohne das die Oeffnungszuckung kinzuträte. Ritter's erste Stufe geht also durch Ermüdung des Präparates bei der vorhandenen Stromstärke nicht in die zweite Stufe über.“ Heidenhain leitet diese Veränderung der Erscheinung aus einer „Ermüdung“ des Präparates ab, indem er offenbar es unentschieden lässt, ob die Schliessungszuckung abnimmt, weil, was uns eben von grossem Interesse wäre, der schwache aufsteigende Strom die inneren Molekularzustände des Nerven so abändert, dass die Erregbarkeit für die Schliessung desselben herabgesetzt ist oder weil das Präparat mittlerweile wegen des allgemeinen Absterbens überhaupt an Reizbarkeit verloren hat, so zwar,

dass nach Verlauf derselben Zeit das Endresultat bei abermaliger Prüfung ebenfalls eine Abnahme der Stärke der Schliessungszuckung gewesen wäre, wenn auch der Strom gar nicht das Präparat durchflossen hätte. Es muss also dahingestellt bleiben, ob der Erfolg in einer Modification durch den Strom oder in dem einfachen Absterben oder in Erschöpfung durch den Reiz seinen Grund hat, da es sich nicht von selbst versteht, dass diese Ursachen die Erregbarkeit in derselben Weise umändern. Diese Betrachtung muss sich auch auf die folgenden Angaben Heidenhain's beziehen.

Endlich wäre aber bei den Heidenhain'schen Versuchen noch daran zu denken, dass er die Stromstärke durch Einschaltung feuchter Fäden regulirte, welche eine sehr grosse Oberfläche bieten, darum stets leicht trocknen und rasch an Widerstand zunehmen, womit die Stromstärke also abnimmt.

Bei Prüfung der zweiten Stufe des Ritter'schen Gesetzes der Zuckung, wo also die etwas erhöhte Stromstärke bei der Schliessung des aufsteigenden Stromes eine stärkere, bei der Oeffnung eine schwächere Zuckung zur Folge hat, stellt Heidenhain den Satz auf, dass bei Ermüdung des Präparats auf dieser zweiten Stufe, die Oeffnungszuckung allmählig verschwindet bei gleichzeitiger Abnahme der Grösse der Schliessungszukkung. „Die zweite Stufe geht also durch blosse Ermüdung ohne Veränderung der Stromesintensität nicht in die tiefere dritte, sondern in die höhere erste über.“ Auch hier lässt sich nicht sagen, ob der von Heidenhain angegebene Erfolg in einer Modification des Präparates durch den Strom oder in dem Absterben seinen Grund habe. Ausserdem habe ich bei Reizung der tieferen Stellen des Ischiadicus, wo der Strom nur eine kleine Strecke von 2—4 Mm. umfasste, wiederholt in Uebereinstimmung mit Ritter, das Umgekehrte von dem gesehen, was Heidenhain angiebt, nämlich Uebergang von der ersten zur zweiten und von dieser zur dritten Stufe des Ritter'schen Gesetzes. Das geschah jedoch ohne Vermehrung der Stromstärke, welche laut der Aussage des Multiplicators constant war. Dieser von Heidenhain entgegengesetzte Erfolg kann aber darin seinen Grund haben, dass Heidenhain bei

Digitized by Google

seinen Versuchen andere Nervenstrecken im Kreise hatte. Man muss demnach zugeben, dass das allgemeine Gesetz hier noch nicht gekannt ist.

Für die Modification der Erregbarkeit des Präparates auf der dritten Stufe des Ritter'schen Gesetzes der Zuckung, wo also Schliessungs- und Oeffnungszuckung nahezu gleich stark sind, unterscheidet Heidenhain zwei Fälle:

„Liegt die angewandte Stromstärke nahe der unteren Grenze, sind also die beiden (untereinander gleichen) Zuckungen nur schwach, so tritt häufig, doch bei weitem nicht immer, ein Rückgang von der dritten zur zweiten und ersten Stufe ein, indem die Oeffnungszuckung unter die Schliessungszuckung sinkt und schliesslich ganz verschwindet. Zweitens geht in anderen Fällen bei der Ermüdung die dritte Stufe in die vierte und weiterhin in die fünfte über. Dies findet seltener bei schwachen Strömen, mit Sicherheit aber dann statt, wenn der angewandte Strom der oberen Grenze der Stromstärken, für für welche die dritte Stufe gilt, naheliegt und in Folge dessen beide Zuckungen stark sind. Nach diesen Allem bildet die dritte Stufe eine Grenze, von der aus ein Rückschreiten sowohl als ein Vorschreiten möglich ist. Ob aber das eine oder das andere eintritt, hängt lediglich von der Stärke des angewandten Stromes ab."

Zwischen Heidenhain und Ritter besteht demnach der Widerspruch, dass nach Ritter die Stufen allmählig durch Modification so aufeinander folgen, dass sich aus einer tieferen immer die höhere entwickelt, während nach Heidenhain ein Vor- und Rückschreiten möglich ist.

Heidenhain betrachtet endlich noch die höheren Stufen des Ritter'schen Gesetzes als hervorgebracht durch Modification des Nerven, indem er sagt:

„Wie wir eben sahen, wurde die vierte und fünfte Stufe Ritter's von der dritten aus durch „Ermüdung" des Präparates erreicht. Man kann zu diesen niederen Stufen aber auch von der ersten und zweiten aus unmittelbar gelangen, wenn man einen plötzlichen grossen Sprung in der Stromstärke macht. Hatte ich z. B. durch zwei Elemente und die

Digitized by Google

möglichst geringste Länge des Fadens die zweite Stufe (beide Zuckungen vorhanden, die Schliessungszuckung vorherrschend) erreicht, so sah ich bei Anwendung des Bausches statt des Fadens und Verstärkung der Säule auf sechs Elemente unmittelbar die vierte Stufe (beide Zuckungen vorhanden, Vorherrschen der Oeffnungszuckung) eintreten. Ich bemerke hierbei ausdrücklich, dass in solchen Fällen die Schliessungszuckung nicht bloss relativ (im Verhältniss zur Oeffnungszuckung) schwächer wird, sondern vielmehr auch trotz der Steigerung der Stromesintensität absolut an Stärke abnimmt. Diese Abnahme kann sogar bis Null gehen. Denn unter Umständen kann man die erste Stufe (alleinige Schlusszuckung) mit Ueberspringung aller Zwischenstufen durch angemessene plötzliche Stromverstärkung in die fünfte Stufe (alleinige Oeffnungszuckung) überführen. Die Ueberspringung der mittleren Stufen durch sprungweise Stromverstärkung gelingt besonders leicht bei Fröschen von nicht sehr hoher Erregbarkeit.“ — Man ist nicht recht klar, ob Heidenhain glaubt, dass die fünfte Stufe auch eintreten könne, ohne dass die niederen Stufen dagewesen seien, vielmehr scheint dies nicht seine Ansicht, besonders wenn man sein allgemeines Zuckungsgesetz für den aufsteigenden Strom lies't, wo er auch sagt: dass in demjenigen Zustande, welcher dem des unversehrten Lebens am nächsten steht, die Schliessungszuckung die starke Zuckung des aufsteigenden Stromes sei. „Durch Anwendung grösserer Stromstärken geht dieser Zustand in denjenigen über, welcher dem Nobili'schen Gesetze entspricht und durch Vorwiegen der Oeffnungszuckung charakterisirt wird. Der neue Zustand kann wieder verschwinden und dem früheren (natürlichen) Platz machen, wenn die Stromstärke, die ihn erzeugt hat, bald wieder verringert wird. Er befestigt sich um so mehr, je länger der starke Strom auf den Schenkel einwirkt; überschreitet die Fortdauer dieser Einwirkung eine gewisse Zeit, die um so kürzer ist, je stärker der angewandte Strom war, so ist der frühere (natürliche) Zustand unwiederbringlich verloren.“ (S. Heidenhain a. a. O. p. 453.)

Hiernach scheint Heidenhain mit Ritter in der That

anzunehmen, dass die tieferen Stufen nur durch Modification erzeugt würden, indem der Strom den Nerven verändert und deshalb das Zuckungsgesetz modificirt. Diese Auffassung ist nun in Wirklichkeit nicht die richtige, sondern wie ich finde, erzeugt ein ausreichend starker aufsteigender Strom durch den Nerven geleitet, besonders für die tieferen Stellen des Ischiadicus, sofort ausnahmslos nur Oeffnungszuckung, indem er in denselben eintritt, ohne dass ein leises Flimmern des Muskels stattfände. Mit anderen Worten: Jeder soeben präparirte Nerv giebt nur Oeffnungszuckung und keine Schliessungszuckung, wenn der Strom stark genug ist; nur Schliessungszuckung und keine Oeffnungszuckung, wenn er schwach genug ist. Es ist also am frischen Nerven das Zuckungsgesetz verschieden je nach der Stärke des Stromes, weshalb man nicht behaupten kann, dass für den aufsteigenden Strom die Schliessungszuckung die „starke“ Zuckung sei, weil bei Anwendung starker Ströme die Oeffnungszuckung die „starke“ Zuckung ist, auch wenn vorher durch den Nerven noch gar kein Strom hindurchgeleitet worden ist.

Für den absteigenden Strom adoptirt Heidenhain ebenfalls das Ritter'sche Gesetz der Zuckung, also Vorwiegen der Oeffnungszuckung bei den niederen Stufen, Vorwiegen der Schliessungszuckung bei den höheren. Auch hier fasst Heidenhain die Succession der Erscheinungen des Zuckungsgesetzes bei allmähligem Wachsen der Stromstärke als durch Modification der Nerven bedingt auf und leitet sie nicht einzig und allein von der Stromstärke ab, obschon dies hier durchaus nicht zweifelhaft sein kann. Denn ein starker absteigender Strom giebt fast ausnahmslos Schliessungszuckung!

Ueber die Modification des Präparates theilt Heidenhain das merkwürdige Factum mit, dass bei schwachen absteigenden Strömen, wie Ritter behauptete, in der That die Oeffnungszuckung vorwalte, sehr leicht aber zurücktrete. „Denn electrische Einwirkungen führen den absteigend durchströmten Schenkel viel leichter als den aufsteigend durchströmten, aus dem natürlichen Zustande, in welchem er bei schwachen Strömen die beiden ersten Ritter'schen Stufen zeigt, in den dem

Nobili'schen Gesetze entsprechenden Zustand über und machen viel leichter, als dort, die Rückkehr zu dem natürlichen Zustande unmöglich. Ich habe es gesehen, dass der letztere vernichtet wurde, als der Schenkel durch den Muskelstrom der Oberschenkelmuskeln vom Ischiadicus aus in einige starke Zuckungen versetzt worden war. Diese leichtere Vergänglichkeit des natürlichen Zustandes erklärt wohl die sub 1. erwähnten häufigeren Ausnahmen von der allgemeinen Regel," wo nämlich der schwache Strom eine stärkere Schliessungszuckung als Oeffnungszuckung gab. (S. Heidenhain a. a. O. p. 460 u. 461). Zu dieser Möglichkeit füge ich noch eine andere Beobachtung hinzu, welche ich oft genug gemacht habe und welche beitragen kann jene Abweichungen aufzuklären. Wenn man nämlich eine Strecke des Ischiadicus von 1—4 Mm., welche zwischen Gastroknemius und dem Abgang der Oberschenkeläste vom Stamme des Nerven gelegen ist, dem absteigenden Strome aussetzt, so giebt derselbe entschieden vorwiegend Schliessungszuckung bei schwächsten Strömen, ganz so, wie der aufsteigende Strom. Heidenhain hatte einen anderen Theil und eine andere Länge des Nerven bei seinen Versuchen im Kreise, weshalb sein abweichendes Resultat von diesem ersichtlich ist, zugleich aber auch die von ihm beobachteten Ausnahmen.

Als wirkliche Modification muss aber allerdings mit Ritter und Heidenhain die Thatsache gelten, dass durch Behandlung des Nerven mit einem entsprechend starken absteigenden Strom die Schliessungszuckung über die Oeffnungszuckung die Oberhand gewinnt, welche letztere sogar ganz verschwindet. Es findet also mit Bezug auf die Modification der Erregbarkeit in diesem Falle für die dritte Stufe des Ritter'schen Gesetzes der Zuckung das umgekehrte Verhalten des absteigenden gegen den aufsteigenden Strom statt, indem hier die Schliessungszuckung vor der Oeffnungszuckung, dort diese vor jener zurücktritt und endlich verschwindet.

Die Succession dieser Erscheinungen bezeichnete man bisher als Nobili's Gesetz der Zuckung, obschon, wie man hier gesehen, diese Reihe von Phänomenen kein Anrecht auf

Digitized by Google

diesen Titel hat, der weit eher dem allgemeineren und den Thatsachen bessere Rechnung tragenden Ritter'schen Gesetze zuertheilt werden könnte. Das ist bis jetzt Alles, was über den Einfluss der Nachwirkungen des constanten Stromes auf die Veränderung der Erregbarkeit gesagt werden kann. Wie man gesehen hat, beziehen sich indessen die Angaben lediglich auf die Veränderungen in der vom Strom unmittelbar betroffenen Strecke, sowie auch die Prüfung auf das Verhalten der veränderten Erregbarkeit sich stets auf die ganze modificirte Strecke erstreckte. Ob ausserhalb der Electroden auch durch den constanten Strom die Erregbarkeit sich so abändere, dass sich das Zuckungsgesetz umkehrt so wie in der unmittelbar durchflossenen Strecke, darüber liegen noch keine Beobachtungen vor; ja es ist noch nicht einmal die Frage darnach bis jetzt angeregt worden. Ich habe indessen bei meinen Untersuchungen niemals Erscheinungen wahrgenommen, welche unzweifelhaft darauf hindeuteten, sondern es schien mir, dass solche grössere Abänderungen der Erregbarkeit, wie sie die unmittelbar vom Strome betroffene Strecke darbietet, in den ausserhalb der Electroden gelegenen Theilen niemals beobachtet werden, sodass jene grösseren Veränderungen also local bleiben.

II.

Methode.

Digitized by Google

Methode.

I. Die nicht polarisirbaren Electroden.

Da die Untersuchungen, mit welchen wir uns beschäftigen, sämmtlich auf unmittelbarer Messung der Zuckungen basiren, wie sie ein Strom von gegebener Grösse bedingt, sei es, dass er als constanter oder als reizender Strom beim Experimente betheiligt sei, so mussten wir eine ausreichende Sicherheit für die innerhalb gewisser Zeitgrenzen constant bleibende Stärke der Ströme verlangen. Es war darum nothwendig, dass an allen Stellen, wo Leiter erster mit solchen zweiter Ordnung in Contact kamen, stets diejenigen Bedingungen erfüllt waren, von denen es bekannt ist, dass sie die an jenen Grenzen ausgeschiedenen Electrolyten wegschaffen und also die durch sie gleichzeitig erzeugte electromotorische Wirksamkeit beseitigen.

Die Elemente, deren ich mich durchweg bediente, waren die kleinen von du Bois-Reymond angegebenen Zinkplatinelemente. Die Höhe des Zinkcylinders beträgt 37 Mm., der Durchmesser, von einer Innenwand zur anderen gemessen, 40 Mm. Das Platinblech hat 17 Mm. an Breite und 40 Mm. an Länge, von welcher etwa ein Stück von 7 Mm. an den Zinkbügel angelöthet ist bei denjenigen Elementen, welche bestimmt sind, als Glieder der Säule gebraucht zu werden. Nachdem das Zinkelement sorgfältig und reichlich mit Queck-

silber an allen Theilen, mit Ausnahme des Bügels, amalgamirt ist, wird dasselbe auf seiner äusseren Oberfläche, sowie am Bügel, mit einem schwarzen Lacke überzogen, welcher eine Mischung von Kienruss mit Bernsteinlack ist. Amalgamirt man auch den Bügel, so geht sehr leicht die Löthung ab und das Zink haftet dann nicht mehr an dem Platin, wenn es nicht vorher ausgeglüht worden ist. Die Zinkelemente, welche einzeln oder als Ende der Säule verwendet werden sollten, habe ich mit einem massiven Fortsatze bauen lassen, an welchem ein Draht angelöthet ist, da man so das Element bis auf den letzten Rest bequem aufbrauchen kann, während dies nicht angeht, wenn man den Kupferdraht in das Zink einschrauben oder gar einlöthen lässt, wo ihn die Säure sehr bald zum Abfallen bringt, ohne dass man ihn nachher wieder ohne bedeutende Mühe anzulöthen vermag. Das von du Bois-Reymond zuerst angewandte Lackiren der Aussenfläche des Zinkcylinders ist darum so vortheilhaft, weil auf diese Weise das Element vor dem Angriffe der Schwefelsäure auf derjenigen Seite geschützt wird, wo es ohnehin gewiss nur sehr wenig in Betracht kommende Ableitungen für die Electricität bietet. Da wo das Platin mit dem Zinkbügel oder das Endplatin der Säule an einen Kupferdrath angelöthet ist, überzieht man dasselbe sorgfältig mit einer Lackschicht, weil diese wenigstens einige Zeit die Löthung gegen die Angriffe der rauchenden Salpetersäure schützt. Am wenigsten werden die Löthstellen von der rauchenden Säure belästigt, wenn man die Säulen vor dem Fenster des Laboratoriums im Freien aufgestellt hat, wie es bei mir für gewöhnlich der Fall war. Hat man aber die Säule in einem geschlossenen Raum, so sind die Störungen wegen des Abfallens der Platinbleche häufig unerträglich, besonders wenn man mit sehr starker rauchender Salpetersäure und vielen Elementen arbeitet, sowie es bei diesen Untersuchungen häufig der Fall war. Die Mischungen der Säuren, deren ich mich bediente, waren folgende: Das Zink stand in Mischung von Wasser mit 20 pCt. Schwefelsäure; den porösen Thontrog, zur Aufnahme des Platins bestimmt, füllte ich für gewöhnlich mit einer Mischung von

concentrirter rauchender Salpetersäure, von gelbbrauner Färbung, wenn sie in Gefässen von einigen Zoll Durchmesser befindlich, angesehen wird, mit gleichen Volumtheilen nicht rauchender Salpetersäure. Nur bei besonderen Veranlassungen nahm ich die unverdünnte rauchende Salpetersäure. Ich bediente mich der gebrauchten Mischung überhaupt nur so lange, als sie noch eine deutliche grüne Färbung zeigte. Bekanntlich nimmt die rothe Säure durch einen starken Strom sehr schnell eine wunderschöne Farbe von tiefem Grün an, das um so mehr dann wieder abnimmt, je längere Zeit die Säure der electrolysirenden Wirkung des Stromes ausgesetzt war. Im Amalgamiren aber habe ich nie gesäumt, sondern sofort aufs Neue amalgamirt, wenn das Element beim Eintauchen in die verdünnte Schwefelsäure nicht sogleich Silberglanz annahm. Das häufige Amalgamiren kann ich allen sich mit solchen Versuchen Beschäftigenden nur sehr warm empfehlen, weil die Mühe dann eine ungleich geringere oder kaum nennenswerthe ist, als wenn man länger wartet, wo die Schwierigkeit und Unannehmlichkeit dieses Geschäfts doch recht bedeutend genannt werden muss. Denn bei öfterem Amalgamiren reicht etwas verdünnte Schwefelsäure aus, indem sich dann das Quecksilber mit Begier über das ganze Zink willig ausbreitet, während die länger gebrauchten Elemente heisser roher Salzsäure und Schwefelsäure bedürfen, bis es gelingt, ihre Oberfläche durch Bürsten endlich so rein zu erhalten, dass sie sich amalgamiren lassen.

Ich glaubte, diese Auseinandersetzung dem Leser geben zu müssen, weil es bei diesen Versuchen mehr als bei anderen darauf ankommt, dass man es wirklich mit solchen Strömen zu thun habe, die man ohne Bedenken als constante betrachten dürfe. Durch diese Darlegung wird uns allerdings noch kein Bild gegeben von der Art und Weise, wie der Strom dem Nerven selbst ohne Polarisation zugeführt worden ist. Die Gründe, welche uns bei den an den Nerven anzulegenden Electroden bestimmen, die Polarisation auszuschliessen, sind einmal dieselben, welche bei der Säule bereits erwähnt wurden und Bezug haben auf die Constanz des electrischen Stromes,

anderentheils aber auf die Ausscheidung solcher Stoffe am Nerven, welche als solche bereits unmittelbar chemisch seine Substanz angreifen.

Um beiden genannten Uebelständen zu entgehen, leitete ich den Strom aus Kupferdrähten zunächst in eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol, aus dieser Lösung aber, die den Nerven, wenn sie auf ihn direct applicirt würde, chemisch angriffe, erst in Eiweiss und von diesem in den Nerven.

Die dem Nerven anzulegenden Eiweiss-Electroden sind zweimal rechtwinklig gebogene Glasröhren. Der Durchmesser derselben betrug 3 Mm., mit Ausnahme desjenigen Endes, welches an den Nerven angelegt werden sollte, indem dieses möglichst schlank ausgezogen und dann mit dem Glasmesser so abgeschitten war, dass der Durchmesser nunmehr hier = 1,5 Mm. betrug. Die dieses Lumen begrenzende Glaswand muss natürlich beim Ausziehen möglichst dünn hergestellt werden, damit für viele anzulegende Electrodenpaare Platz bleibe. Die Totallänge einer solchen Röhre beträgt 20 Cm., welche auf die verschiedenen Partien derselben folgendermassen vertheilt sind: vom schlank ausgezogenen Ende bis zur ersten rechtwinkeligen Biegung 6,3 Cm., von dieser zur anderen Biegung 9,5 Cm., und von dieser bis zum anderen freien Ende = 4 Cm.

Das nicht ausgezogene Ende ist in der Bohrung eines Korkes luftdicht eingeschlossen und auf diesen Kork dann noch eine Glasröhre von 5,5 Cm. Länge und 1 Cm. Durchmesser aufgesetzt. In dieses weitere Rohr giesst man dann das Eiweiss ein, bis es in dem schlanken Schenkel des ausgezogenen Rohres emporsteigt und seine capillare Oberfläche in demselben dasselbe Niveau mit der Mündung der Röhre hat, welche dem Nerven angelegt werden soll. Die Ebene der zweimal rechtwinklig gebogenen Röhre steht dann natürlich senkrecht. Vor dem Eingiessen thut man gut, das Eiweiss sorgfältig mit einer Scheere nach verschiedenen Richtungen zu durchschneiden, damit es sich dann willig und leicht in beliebig geringer Menge ausgiessen lasse. Wenn die Eiweissröhren gebraucht sind, geschieht ihre Reinigung folgender-

massen: Ich pfropfe einen durchbohrten Kork auf das freie Ende der weiteren Röhre, welche vorher gereinigt worden ist, und spritze die ganze Röhre dann durch die Bohrung des Korkes mit Wasser mehrmals aus, um zuerst die Eiweissgerinnsel mechanisch auszutreiben. Darauf lösen sich leicht die noch festklebenden Eiweisstheilchen durch sehr verdünntes Kali causticum ab, welches man mit der Sprütze hindurchtreibt und dann wieder mit Wasser auswäscht. Die Röhren werden dann wieder vollkommen rein und brauchbar.

Um je eine oder auch zwei solcher Electrodenpaare von Eiweissröhren in beliebiger Lage fixiren zu können, wurden dieselben in einer Klemme eingespannt. Diese Klemme besteht aus zwei viereckigen Metallblechen von 15 Millimeter Breite, 56 Millimeter Länge und 3 Millimeter Dicke. Diese Platten sollen nun gleich einer Pincette mehrere Röhren fassen können und dabei sich parallel bleiben. Die eine Platte trägt deshalb an einer Seite und zwar an beiden Ecken der breiten Seite zwei sie senkrecht durchbohrende Messingschrauben, durch deren Stellung der Abstand der anderen Platte der Klemme bestimmt wird. Um nun dann die Röhren festzuhalten, sind beide Platten vor den beiden genannten Schrauben nochmals von einer stärkeren Schraube durchbohrt, durch welche man die Klemme gegen den zu fassenden Gegenstand beliebig fest andrücken kann. Damit das Metall hierbei die Röhren nicht zerbreche und die Fassung sicherer sei, ist der noch freie innere Theil der beiden Branchen in der ganzen Breite und einer Länge von 40 Mm. mit einer Korklage gefüttert. Um die Klemme selbst fixiren zu können, besitzt sie an einer ihrer Platten einen Fortsatz, welcher eine kleine Metallkugel trägt, die in einem Kugelgelenke festzustellen ist. Das Kugelgelenk selbst aber befestigte ich an den Arm des „allgemeinen Trägers“, d. h. eines Statives, wie es von du Bois-Reymond in seinem Werke beschrieben ist. Da man zuweilen drei Electrodenpaare, also sechs unpolarisirbare Electroden anzulegen hat, so muss man mindestens zwei solcher Klemmen tragender Stative besitzen. Wie man sieht, sind wir nunmehr im Stande, unseren Electroden die feinste und

sicherste Einstellung zu geben, die man wünschen kann. Die Mahagoniklöze der Stative, welche mit Blei ausgegossen sind, lassen sich ausserdem noch durch Schrauben an den Arbeitstisch befestigen. Bei der Anlegung der Electroden hat man sich nun die ausgezogenen Enden der mit Eiweiss gefüllten Röhren vertikal, und ihre sämmtlichen oberen Enden in einer horirontalen Linie zu denken, in welcher der Ischiadicus des Nervmuskelpräparates über dieselben hingespannt werden soll. Wie nun bereits bemerkt, dürfen wir nicht die Drähte der Säule in die freien Enden dieser Eiweissröhren eintauchen; denn wenn wir auch so erreichen würden, dass die an den Metallen sich abscheidenden Electrolyten mit dem Nerven selbst nicht mehr in Contact kommen, so wäre doch immer noch die durch jene Zersetzungsstoffe hervorgebrachte electromotorische Wirksamkeit nicht beseitigt.

Zu dem Ende tauchen die dünnen kupfernen Zuleitungsdrähte in zwei mit einer concentrirten Lösung von chemischreinem Kupfervitriol in destillirtem Wasser gefüllte Probirgläschen von 5 Cm. Höhe und 2 Cm. Durchmesser. Das Probirgläschen wird durch einen Metallring getragen, auf welchem es durch seine Schwere sich mit seinem aufgeworfenen Rande auflehnt. Der Metallring aber ist durch einen horizontal gestellten Stab festgehalten, welcher in einer Hülse verschiebbar und durch eine Schraube in irgend einer Lage festgehalten wird. Die Hülse kann selbst wiederum an einem verticalen Stabe aus Glas durch eine zweite Schraube in irgend einer passenden Höhe festgestellt werden. Der Glasstab ist unbeweglich in einen Holzklotz gekittet, der auf dem Tische festgeschraubt ist. Man bedient sich so vieler solcher Probirgläschen, als Electroden dem Nerven angelegt werden sollen. Es bleibt uns nunmehr noch übrig, den Strom aus der Kupfervitriollösung dem Eiweisse durch einen feuchten Leiter zuzuführen.

Hierzu bediente ich mich abermals mit chemisch reiner concentrirter Kupfervitriollösung gefüllter Glasröhren, welche zweimal rechtwinklig gebogen und an beiden Enden mit thierischer Blase zugebunden waren. Die Totallänge dieser Röh-

ren beträgt 12 Cm., ihr Durchmesser 4 Mm. Von den beiden umgebogenen Enden der Röhre taucht nun das eine in die concentrirte Kupfervitriollösung des Probirgläschens, das andere aber in das mit Eiweiss gefüllte Rohr. In nächster Nähe der Blase coagulirt nun das Eiweiss; doch bildet sich bald eine von dem flüssigen scharf abgeschnittene Schicht, welche nur sehr langsam nach vielen Stunden um ein Geringes vorschreitet.

Es ist nunmehr unsere Aufgabe, uns zu überzeugen, wie weit unser Zweck, der dahin ging, die Polarisation zu eliminiren, erreicht sei, hauptsächlich um zu erfahren, welches Zeichen dieselbe trage, da wir ja ausser der wahrscheinlich immer noch nachweisbaren Polarisation des Metalles auch noch die von den flüssigen Leitern herrührende zu berücksichtigen haben. Der Versuch wurde folgendermassen angestellt. In den Kreis wurde aufgenommen der Museumsmultiplicator mit halber Länge; die durch den Berichtigungsstab auf 0 gehaltene Nadel schlug 12″. Mit den Eiweisselectroden stand der Kreis aber erst durch einen Pohl'schen Commutator von du Bois-Reymond'scher Construction in Verbindung, welche bekanntlich darin besteht, dass die Wippe ein festes Axenlager hat, und deshalb wenn der Commutator fest an den Tisch geschraubt ist, mit grösster Geschwindigkeit umgedreht werden kann. Wenn man nun also die Wippe umlegt, so wird der Strom nur in dem Kreis der Electroden, nicht aber im Multiplicator umgekehrt, so dass bei vorhandener Polarisation die Nadel eine positive Schwankung des den Multiplicator durchkreisenden Stromes anzeigt, wenn eine Polarisation im Electrodenkreise vorhanden war, welche die dem Nerven entgegengesetzte Richtung hatte, während die Nadel zurückgehen wird, wenn die Polarisation positiv wäre, was ja höchst unwahrscheinlich ist. Das Ergebniss beim Umlegen der Wippe, mochte der Nerv im Kreise sein oder nicht, bestand darin, dass die Nadel eine positive Schwankung anzeigte, z. B. von 30° bis zu 50° ging. Legte man aber die Wippe mit geringer Geschwindigkeit um, so waren die Wirkungen der Polarisation durchaus verschwindend oder Null, woraus man be-

merkt, dass die Ungleichartigkeiten sich ungemein rasch verlieren. Vergleicht man diese Polarisation mit der von Platin mit Wasser, so findet man dieselbe immer noch sehr klein, weshalb wir uns ohne Bedenken dieser Electroden bedienen werden.

Es bleibt mir noch Einiges darüber zu bemerken übrig, weshalb ich die mit Eiweiss gefüllten Glasröhren als Electroden den mit Eiweiss getränkten Fäden vorziehe, wie sie von Eckhard in Gebrauch gezogen worden sind.

Die Electroden müssen in einem feuchten Raume dem Nerven angelegt werden; aber dieser Raum darf doch nicht so sehr mit Wassergas gesättigt sein, dass geringe Temperaturschwankungen Wasserbeschlag hervorbringen. Im Gegentheil ist die grösste Sorgfalt und Vorsicht darauf zu verwenden, dass dies nicht geschehe, weil ja sonst dem in den Raum eingeführten Strome alle Isolation und Begrenzung fehlt. Ist aber der Raum, wie er soll, nicht ganz mit Wassergas gesättigt, so verdunstet nothwendig darin befindliche Flüssigkeit, so dass die Fäden vermöge ihrer bedeutenden Oberfläche in fortwährenden Schwankungen ihres hygroskopischen Zustandes begriffen sind. Diese müssen aber gerade darum so ausserordentlich bedenklich sein, weil diese Fäden einen ungeheuren Widerstand des Kreises ausmachen, so dass derartige Aenderungen des hygroskopischen Zustandes, welche fortwährend auf allen ihren Punkten vor sich gehen, nothwendig mit mehr oder minder beträchtlichen Schwankungen der Stromstärke verknüpft sein müssen. Dieser Uebelstand wird um so bedenklicher, wenn man, wie es Eckhard fortwährend gethan, sich jedes messenden Instrumentes zur Ueberwachung der Stromstärke entschlägt. Die Eiweissröhren sind von diesem Uebelstande durchaus frei, da die Verdunstung bei ihnen unmöglich und darum die Constanz ihres Widerstandes für viel längere Zeiträume, als diejenigen sind, innerhalb welcher wir zwei zusammengehörige Versuche anstellen, sicher gestellt sein dürfte.

---

2. Das Myographion.

Wir haben uns das Ziel gesetzt, bei diesen Untersuchungen die Veränderungen der Erregbarkeit im electrotonischen Zustande zu ermitteln, indem wir uns als Prüfstein der Erregbarkeit der Zuckungsstärke des Muskels bedienen; welche ein und derselbe Reiz hervorbringt, wenn er einmal den Nerven im natürlichen, das andere Mal im electrotonischen Zustande trifft. In Wirklichkeit beobachten wir nur Veränderungen in der Stärke der Zuckungen und schliessen daraus auf die in den Nerven vorgegangenen.

Eckhard betrachtet die Frage allgemeiner, indem er nicht nur die Stärke, d. h. die Ordinate, welche dem Maximum der Zuckungscurve entspricht, in das Auge fasst, sondern auch etwaige Veränderungen in dem zeitlichen Verlaufe der Zuckung. Es haben sich nun in der That nach Eckhard neben der verschiedenen Stärke jener Ordinate Unterschiede ergeben, denen zufolge die Curve schwächerer Zuckung überhaupt später von der Abscisse anhebt. Die Discussion dieser Fragen aber ist hier darum geboten, weil sie die Art der Anwendung des Myographions, wie sie von uns geschehen, zum Theil rechtfertigen soll. Die Erklärung, welche Eckhard von jenem verschiedenen Verhalten beider Curven giebt, ist durchaus irrig, wie sogleich gezeigt werden soll.

Eckhard (S. Eckhard, Beiträge zur Anatomie u. Physiologie. Giessen 1855. p. 35.) sagt nämlich von jener merkwürdigen Erscheinung:

„Ihre wahre Erklärung ist augenscheinlich folgende. An dem Muskel hängt in unseren Versuchen ein nicht unbedeutendes Gewicht und folglich beginnt erst von dem Zeitmoment der steigenden Energie des Muskels an, in welchem das Kraftmoment desselben dem Lastmoment der Hebelmasse gleichkommt, sich die Curve über die Abscissenaxe zu erheben. Da nun die Curve ab (die Curve schwächerer Reizung) in

ihrem Verlaufe niedriger als die AB (Curve stärkerer Reizung) ist, so wird begreiflich, dass die letztere die Abscissenaxe früher als die erstere verlassen wird. Daher bezeichnet jene horizontale Verschiebung nur diejenigen Zeitmomente der steigenden Energie des schwächer gereizten Muskels, in welcher Kraftmomente entwickelt wurden, kleiner als das Lastmoment des Hebels, oder anders, die genannte Raumgrösse entspricht der Differenz der Zeiten, in welchen in beiden Fällen der Reizung gleiche Energie des Muskels entwickelt wurde."

Hätte Eckhard nur den letzten Satz erwähnt, so würde man haben glauben können, dass er sich eine correcte Vorstellung von jenem Verhalten gebildet habe. In Wirklichkeit stellt er aber hier Erklärungen auf, welche nicht allein im schneidendem Widerspruche mit den Principien der Mechanik stehen, sondern auch beurkunden, dass er höchst wahrscheinlich durch ein Missverstehen des von Helmholtz eingeführten Begriffes der Belastung und Ueberlastung zu einem schweren Irrthum sich habe hinreissen lassen.

Die Sache ist einfach folgende: der den Zeichenhebel des Myographions tragende ruhende Muskel trägt den Hebel allein, d. h. als belasteter Muskel. Da Gleichgewicht stattfindet, so zieht der Hebel mit seiner Schwere an dem Muskel eben so stark nach abwärts, wie der Muskel vermöge seiner Spannung nach aufwärts; oder die Spannung des Muskels ist genau gleich dem an ihm hängenden Gewichte. Sobald eine dieser entgegengesetzt wirkenden und sich das Gleichgewicht haltenden Kräfte um ein Minimum wächst, muss im Sinne der gewachsenen Kraft eine Bewegung entstehen. Sobald also wegen der steigenden Energie die Spannung des ruhenden Muskels um ein noch so Geringes vermehrt wird, muss der Hebel steigen. Eckhard aber behauptet kurz und gut, dass der Hebel erst steige, wenn die Energie des Muskels einen gewissen Werth erhalten hätte, wenn sie nämlich gleich dem angehängten Gewichte geworden sei, ohne zu bedenken, dass ja beim ruhenden Muskel, dessen Energie Null ist, dieser Umstand schon vorhanden sein muss, weshalb die Energie

Digitized by Google

nicht um eine gewisse Grösse, sondern nur um ein Minimum zu wachsen braucht, damit der Hebel steige. Eckhard hat offenbar den überlasteten Muskel im Sinne, welcher in der That erst dann steigt, wenn seine Energie eine bestimmte Grösse erreicht hat, nicht aber sofort beim Beginne derselben, denn die Spannung des überlasteten Muskels ist eben nicht gleich dem angehängten Gewichte, weil eine unter dem Gewichte angebrachte Unterlage einen Theil desselben trägt; es muss also die Spannung des Muskels bei der wachsenden Energie erst gleich diesem Gewichte geworden sein, ehe dasselbe zu steigen beginnen kann. Helmholtz hat ja ja auf diese Weise gemessen, nach welchen Zeiten ein Muskel eine gegebene Spannung erlangt. Doch geschah dies bekanntlich nach der Pouillet'schen Zeitmessungsmethode, nicht aber mit Hülfe des Myographions.

Wenn Fortpflanzungsgeschwindigkeit und latente Reizung, wie es durchaus wahrscheinlich ist, unabhängig sind von der Reizungsstärke, so muss in Wahrheit der belastete Muskel in stets derselben Zeit nach der Reizung den Zeichenstift heben. Da die Curven dem Auge ein anderes Verhalten vorspiegeln, so darf man sich die Sache wohl dennoch folgendermassen vorstellen. Betrachtet man den Abklatsch einer Curve des Myographions unter dem Mikroskope mit Rücksicht auf den Punkt, wo dieselbe die Abscisse verlässt, so fällt es sofort auf, dass dieselbe anfänglich so ausserordentlich flach anhebt, dass man unmöglich genau den Punkt angeben kann, wo dies in Wirklichkeit geschehe. Es wird also irgend einen kleinen Ordinatenwerth geben, für welchen das Auge sich entschliesst, bei ihn den Anfang der Curve zu verlegen, obwohl er in Wirklichkeit früher fällt. Die Curve schwächerer Reizung ist nun noch flacher im Ganzen; mithin wird wohl auch ihr Anfang noch flacher als der bereits sehr flache Anfang der Curve stärkerer Zuckung sein. Der Ordinatenwerth aber, bei welchem das Auge eben eine stattfindende Abweichung von der Abscisse aufzufassen vermag, muss natürlich bei der flacheren Curve verschoben sein, und so kann die Täuschung entstehen, als hübe der Muskel den Hebel in beiden Fällen

Digitized by Google

nicht in genau derselben Zeit nach der Nervenreizung empor. Höchst wahrscheinlich ist dies die richtige Erklärung des merkwürdigen Verhaltens jener beiden Curven.

Man könnte noch daran denken, dass die Curve stärkerer Reizung darum früher anhübe, weil der stärkere Inductionsschlag eine unipolare Wirkung erzeugt, also peripherischere Stellen des Nerven gereizt habe, so dass wegen der Zeit, welche das Nervenprincip bei der schwächeren Reizung durch die längere Strecke braucht, die Curve schwächerer Reizung verschoben sei. Dagegen spricht jedoch, dass nach Eckhard nur der Anfang der Curve verschoben scheint, das Ende beider Curven aber zusammenfällt. Da beide nicht congruent sind, lässt sich das freilich so streng nicht erweisen.

Es hat sich nun herausgestellt, dass die von säulenartig polarisirten Nerven aus erregten Curven sich nicht wesentlich und nicht anders von denen unterscheiden, welche durch Reizung eines im natürlichen Zustande begriffenen Nerven erregt werden, als wie sich Curven schwacher und starker Reizung von einander auch sonst unterscheiden. Es kann also kein vernünftiger Grund mehr existiren, sich zu diesen Untersuchungen eines rotirenden Myographions zu bedienen, umsomehr, als hierdurch eine neue grosse Complication in diese ohnehin so schwierige Untersuchung eingeführt würde.

Ich setzte mir deshalb vor einen Apparat zu construiren, welcher erlaubt, die Hubhöhe des Muskels scharf zu messen. Offenbar eignet sich meiner Ansicht nach hierzu kein Apparat mehr, als das von Helmholtz angegebene Myographion, weil der von dem Froschmuskel in Bewegung gesetzte, den Zeichenstift tragende Hebel nur ein Minimum von Reibung hierbei erfährt und dem Stifte nur eine streng vertikale Bewegung gestattet ist. Da wir indessen bloss die Hubhöhen zu wissen wünschen, so werden wir alle diejenigen Theile des Helmholtz'schen Myographion's entbehren können, welche sich auf Erzielung der Rotation des Cylinders und der rechtzeitigen Auslösung des Inductionsschlages beziehen. Der Apparat wird hierdurch sehr vereinfacht und erhielt nun folgende Form. Auf einem mit Blei ausgegossenen Mahagonibrette (S.

Digitized by Google

Fig. 6.) ist an zwei Säulen a der schreibende Hebel b befestigt, genau so wie es von Helmholtz angegeben worden ist. Ebenso wird das quere Mittelstück c des Hebels durch einen Rahmen d mit dem Hacken e in Verbindung gebracht, welcher durch die Sehne des Gastroknemius gestossen werden soll. Um den Muskel noch mehr belasten zu können, als es bereits durch den Hebel geschieht, habe ich unterhalb des Aufhängepunktes des Hebels am Fleischhacken eine kleine Oese f anbringen lassen, an welche eine Waageschale g angehängt werden kann. Wollte man aber die Belastung des Muskels verringern, so wurde dies dadurch ermöglicht, dass ich an das Verbindungsstück h zwischen beiden Spitzen i, d. h. also an die Rotationsaxe des Hebels k einen Stab l anbringen liess, welcher ein Laufgewicht m trägt, das durch eine Schraube n festgestellt werden kann, da es die Gestalt eines dicken kurzen Cylinders hat, dessen Axe durchbohrt ist, um jenen Stab aufzunehmen, gegen welchen man eine den Cylinder senkrecht zu jener Richtung durchbohrende Schraube festklemmen kann. Statt des Glascylinders von Helmholtz nun bediente ich mich einer polirten Glasplatte o von 7—12 Cm. Länge und 5,5 Cm. Höhe. Diese Platte ruht mit ihrer Basis genau in einer sie in einer Höhe von 1,5 Millimeter umfassenden Rinne p von Messing, welche gegen den Mahagoniklotz festgeschraubt ist und ausser der senkrecht stehenden Glasplatte noch einen senkrecht stehenden Rahmen q von Messing trägt von 5,9 Cm. Höhe und 7 Cm. Breite. An der oberen Leiste des Rahmens befindet sich eine Messingfeder r, welche wie ein Finger die Glasplatte fest gegen die Mitte der oberen Leiste des Rahmens andrückt und sie so ausreichend fixirt, gleichwohl aber eine sanfte Verschiebung der Platte in der Rinne und vor dem die Platte stützenden Rahmen gestattet. Wie natürlich ist die Platte so zum Hebel gestellt, dass die zeichnende Spitze s bei dem Versuch senkrecht auf der Glasfläche steht. Soll die Zuckung auf der Glastafel nicht aufgezeichnet werden, so muss der Stift von der Platte abgezogen sein, was ich ähnlich wie Helmholtz durch einen an den die Spitze tragenden Vertikalhebel angeknüpften Faden t erreichte, welcher

um einen Wirbel u geschlungen war, der die beiden erwähnten Säulen durchbohrte, die den ganzen Hebelapparat trugen. Indem man also diesen Wirbel dreht, wickelt sich der Faden um ihn auf und die Spitze entfernt sich von der Glasfläche. Es bleibt uns nun noch übrig derjenigen Theile zu gedenken, welche zum Zwecke haben die Befestigung des Froschschenkels und die Herstellung des feuchten Raumes für Nerv und Muskel.

Zur Seite der Längenaxe des Schreibhebelwerks steht eine Messingsäule v von 17 Cm. Höhe, 8 Mm. Durchmesser. An dieser cylindrischen Säule ist eine Messinghülse w verschiebbar und kann durch eine Schraube x leicht in irgend einer Lage festgestellt werden. Diese Messsinghülse trägt aber senkrecht zur Axe der Säule einen parallelepipedischen Stab y von Messing von 4 Cm. Länge, 5 Mm. Breite und 2,5 Mm. Dicke, so aber, dass die Fäche des Stabes senkrecht gestellt ist. Ein zweiter Stab z von gleichen Dimensionen nur etwas geringerer Länge ist an dem ersten Stabe in einer festen Axe α befestigt, welche dieser trägt, so dass der zweite Stab gegen den ersten hin und her bewegt werden kann, genau wie eine Pincettenbranche gegen die andere. Die Ebene der Rotation ist aber horizontal. Zur Festklemmung eines Körpers mit diesen Branchen sind die beiden Messingstäbe in der Mitte ihrer Länge von einer Schraube β durchbohrt und an der Innenseite, wo sie fassen sollen, nach Art einer Feile rauh gemacht.

Wie natürlich befinden sich die fassenden Theile dieser Klemmpincette gerade über dem Aufhängepunkt des Zeichenhebels. Die Vorrichtung zur Herstellung des feuchten Raumes war nun folgende: Eine ähnliche zweite Messingschraube γ wie die vorige verschiebt sich an derselben Säule, und lässt sich in irgend einer Lage durch eine Schraube δ gegen die Säule festklemmen. Die Messinghülse trägt aber ein viereckiges horizontales Metallblech ε von 12,7 Cm. Länge, 9,5 Cm. Breite, 0,2 Cm. Dicke. Dieses Metalltischchen soll sich nun zwischen dem Zeichenhebel und der Klemmpincette befinden. Ueber das Tischchen kommt dann aber ein viereckiger Glaskasten η, welcher gerade auf das Tischchen passt, nämlich

12,5 Cm. in der Länge, 9,4 Cm. in der Breite, 12 Cm. in der Höhe misst. Etwas feuchtes Fliesspapier gegen die Decke des Glaskastens angedrückt, hält den Raum zwischen ihm und dem Tischchen so feucht, dass ein Nerv in demselben innerhalb einer Stunde nicht austrocknet. Um aber nun den Fleischhacken, welcher in der Achillessehne haftet, mit dem Hebel in Verbindung setzen und um die Glasröhre von Aussen her an den Nerven anlegen zu können, besitzt das Tischchen einen viereckigen Schlitz λ von 1,8 Cm. Breite und 10 Cm. Länge.

Diesen Apparat hat mir Herr Sauerwald in Berlin nach meiner Angabe in sehr correcter und vortrefflicher Art angefertigt.

Derselbe wurde nun so benutzt, dass die Zeichenspitze auf die berusste Glastafel Striche machte, d. h. also, die Projection der Zuckungscurve auf die senkrechte Coordinatenaxe entwarf, oder falls der Muskel im Tetanus war, die Schwankungen desselben aufzeichnete, während die Platte langsam an der Spitze vorbeibewegt wurde. Die Grösse der Striche wurde später unter dem Mikroskop bei sehr schwacher Vergrösserung mit Hülfe eines Ocularmikrometers gemessen, dessen Theilstriche hierbei 0,1 Mm. gerade angaben. Die Grösse, welche ich noch unmittelbar übersehen und deshalb messen konnte, betrug 10 Mm., welche selten von den Zuckungen überschritten wurden. Diese Längen sind aber vermöge der Einrichtung des Myographions die doppelten von den wirklichen. Bei noch grösseren Zuckungen theilte ich die Striche durch eine der Abscisse parallele Linie in zwei Theile und mass dann jedes Stück für sich.

Die Tetanuscurven aber wurden von der Glasplatte abgedruckt, indem ich dieselben mit mässig durchfeuchtetem Glaspapier (aus Glutin bereitet) abklatschte. Man legt dieses feuchte Glaspapier auf die Glasplatte und rollt dann eine Walze darüber, nimmt dasselbe dann wieder ab, und die Zeichnung steht genau darauf. Auf einer steifen weissen Unterlage klebt man dann diesen Abzug mit Eiweiss fest; und zwar muss diejenige Seite des Abzuges unmittelbar auf die Unterlage

Digitized by Google

kommen, welche den Abklatsch trägt, weil sich so die Zeichnung am schärfsten markirt.

---

3. Der electro-magnetische Fallapparat.

Der schwierigste Theil der Untersuchung war die Beherrschung der Stärke der Zuckung, welche durch einen Inductionsschlag angeregt worden war. Diese Schwierigkeiten waren so gewaltig, dass sie im Anfange die ganze Untersuchung in Frage zu stellen drohten, da es mir nicht gelingen wollte, trotz der grössten Vorsichtsmassregeln durch zwei auf einander folgende Reize die Zuckung gleich gross zu erhalten, wenn nämlich, wie ja natürlich vorausgesetzt wird, die Zuckung nicht das Maximum ihrer Grösse erreicht, was uns zu Nichts bei diesen Versuchen helfen könnte.

Wenn man nämlich mit der Kette reizt, deren Strom irgendwie so geschwächt ist, dass er das Maximum der Zukkung nicht herbeiführt, so bemerkt man, selbst wenn man nur mit der Hand schliesst, keine grossen Zuckungsdifferenzen, sodass man selbst auf diese Weise zur Noth die Untersuchung über den Einfluss constanter Ströme auf die Erregbarkeit anstellen könnte, da es sich hier ja meist um zu beobachtende Grössen handelt, welche weit über jenen Grössen liegen, um welche sich die einzelnen, scheinbar unter denselben Umständen hervorgebrachten Zuckungen von einander unterscheiden. Ob die leichtere Beherrschung der Zuckungsstärke bei Reizung mit dem Kettenstrome ihren Grund hat in dem grossen vorhandenen Leitungs-Widerstande des Kreises, sodass der Strom in dem ersten Augenblicke der Schliessung sofort fast bis auf seine definitive Höhe emporsteigt, mit jener Geschwindigkeit, mit welcher sich im Kreise ein Strom überhaupt herzustellen vermag, oder ob hier noch ganz andere Umstände in Betracht kommen, welche den Schliessungsvorgang begleiten, weiss ich nicht zu sagen. Jedenfalls verlangte das allge-

meine Gesetz der Reizung, dass die Schliessung oder Oeffnung des Kreises stets mit derselben Geschwindigkeit geschehe, mögen wir uns nun des Ketten- oder Inductionsstromes zur Reizung bedienen, sobald zwei Versuche unter einander vergleichbar werden sollen. Ich construirte nun folgenden Apparat, welcher den Zweck haben sollte, in zwei oder mehr aufeinander folgenden Versuchen, den electrischen Kreis mit derselben Geschwindigkeit zu öffnen oder zu schliessen. Die Einrichtung des Apparates ist folgende:

Auf einem Brette (S. Fig. 7.) von 28 Cm. Länge, 12,5 Cm. Breite, 1,5 Cm. Dicke, welches aus der bekannten vortrefflich isolirenden Substanz der schwarzen Kammasse gefertigt ist, befindet sich zunächst an einem Ende ein aus Messing gegossener Metallklotz a von 8 Cm. Länge, 3 Cm. Breite, 6,6 Cm. Dicke. Dieser Metallklotz trägt zwei 4,5 Cm. von einander entfernte vertikal stehende Metallstücke b von 0,6 Cm. Dicke, welche mit dem Klotze ein Stück bilden. Durch diese Metallstücke gehen jederseits zwei kräftige Stahlschrauben c, deren Spitzen stumpfe Coni bilden und deren Drehungsaxen bei beiden Schrauben so liegen, dass ihre Verlängerungen zusammenfallen. Jede Schraube kann durch eine Gegenmutter d, welche aussen an dem vertikal stehenden Metallstück befestigt ist, festgestellt werden. An einer Seite trägt nun der viereckige Metallklotz noch eine Klemme e, an welcher ein Zuleitungsdraht angeschraubt werden kann. Zwischen jenen beiden wohlpolirten Stahlkegeln der Schrauben befindet sich eine Stahlwalze f oder ein Stahlcylinder von 4,2 Cm. Länge, welcher an beiden Enden in cylindrischen der Axe der Walze parallelen Vertiefungen jene Coni der Schrauben aufnimmt, sodass also Coni und Walze sich nur in einer Linie berühren können, welche ein Kreis ist. Die Walze kann demnach um ihre Axe sehr sicher rotiren, ohne dass irgend welche seitliche Bewegungen möglich sind, obschon die Reibung ein Minimum ist.

Diese Walze selbst trägt nun in ihrer Mitte g den Stiel h des electro-magnetischen Eisenhammers. Dieser Stiel misst 16 Cm. in der Länge und hat eine vierseitig prismatische Form von 0,6 Cm. Seite. Der Hammerstiel aber trägt nun

Digitized by Google

einen mächtigen Kopf i aus weichem Eisen von im Allgemeinen cubischer Gestalt von 3,3 Cm. Seite. Nur die obere und untere Fläche des Hammerkopfes, dessen Stiel horizontal am Apparat gedacht wird, ist nicht eine ebene Fläche, indem die obere sanft convex gebogen die Fläche eines Cylinders darstellt, dessen Axe senkrecht steht auf dem Stiele des Hammers. Die untere Fläche besteht indessen aus zweien unter einem stumpfen Winkel gegen einander geneigten ebenen Facetten, deren Trennungslinie den vier horizontalen Kanten des Hammerkopfes parallel läuft. An einer vertikalen nach der Seite gekehrten Fäche des cubischen Hammerkopfes befindet sich nun eine Messingplatte k angeschraubt, von welcher ein sich nach unten biegender Messingstab l ausgeht, an dessen Ende ein vertikal stehender, mit seiner Spitze nach unten sehender Platindraht m angelöthet ist. Wie man sieht, kann dieser Hammer nur streng vertikale Bewegungen machen und ist in dieser Beziehung durch Reibung nicht gehindert, weil diese einmal an den genannten Schraubenkegeln so sehr klein ohnehin ist und der Hammer mit einem so schweren Kopfe erst durch den sehr langen Stiel mit der Axe in Verbindung steht, also beim Fallen ein grosses Moment hat.

Dieses Hammers wollen wir uns nun bedienen, um ihn immer aus derselben Höhe herabfallen zu lassen, damit er einen gegebenen Contact immer mit derselben Geschwindigkeit öffne oder schliesse.

Betrachten wir zunächst die Vorrichtung, welche den Hammer in bestimmter Höhe erhalten und zur gegebenen Zeit ganz leise und ohne irgend eine Erschütterung loslassen soll. Die bequemste und sicherste Methode ist hierzu offenbar der Electromagnetismus.

Zur Seite des Hammerkopfes erheben sich demnach zwei Messingsäulen n von 21 Cm. Höhe und 1 Cm. Durchmesser; so dass also der Hammer zwischen beiden Säulen gelegen ist. Zur sicheren Stellung beider Säulen sind ihre Enden oben noch durch ein queres Messingstück o verbunden, das durch eine Schraube p auf den Säulen befestigt werden kann. Ein zweites queres Messingstück q, welches zwei Hülsen r trägt, lässt

sich zwischen beiden Säulen und an ihnen verschieben, durch je eine Schraube s aber, welche die Hülse durchbohrt, in irgend einer Höhe über dem Hammer feststellen. Dieses verschiebbare Querstück von 2 Cm. Breite, 0,5 Cm. Dicke, trägt nun nach Unten eine Platte t von weichem Eisen, welche 6,5 Cm. lang, 0,7 Cm. dick und 2,2 Cm. breit ist.

Unter dieser Platte von weichem Eisen und zwar senkrecht auf ihr stehen nun die beiden weichen Eisenkerne u, deren jeder von einer Rolle mit Seide besponnenen mitteldicken Kupferdrathes umhüllt ist. Jeder dieser weichen Eisenkerne hat ebenfalls unten, wo er aus der Drathrolle hervorragt eine nach unten convexe Fläche, welche also unmittelbar über dem Hammerkopf sich befindet und bei fast jeder Höhe der Rollen von dem Hammer berührt wird. Beide Rollen sind ein für allemal leitend mit einander verbunden und so gewickelt, dass die nach unten gekehrten Pole, falls ein Strom die Rollen durchkreist, freundliche werden, welche dann durch den Hammerkopf als vorgelegten Anker geschlossen werden können. Je zwei an den Rollen angebrachte Klemmschrauben nehmen die Zuleitungsdräthe auf. Hebt man also den Hammer auf, bis er die electromagnetisirten Eisenkerne berührt, so schwebt er in dieser Höhe so lange, bis der Strom unterbrochen wird und fällt dann, wenn dies geschieht, herab.

Es bleibt nun noch der Theil des Apparates zu betrachten, an welchem der Hammer die Contacte verändern soll. An der dem Axenlager des Hammers entgegengesetzten schmalen Seite des Brettes ist ein zweites, dem ersten ganz ähnliches Axenlager v angebracht von 5,5 Cm. Länge, 2 Cm. der Quere und 0,6 Cm. in der Dicke. Auf diesem Messingklotze stehen wiederum zwei mit ihm ein Stück bildende verticale Klötzchen w von 0,6 Cm. Dicke, welche die Schrauben x mit conischen Spitzen tragen, mit welchen die Rotationswalze y des Contactstabes z in derselben Weise articulirt, wie dies an der Hammerwalze der Fall ist. Die Contactwalze trägt nun einen Messingstab in der Mitte, dessen Richtung senkrecht zu ihrer Richtung ist, eine Länge von 7 Cm. hat und eine

vierseitig prismatische Form von 0,4 Cm. Seite. Die Mitte des Contactstabes ist aber von der Rotationswalze durchbohrt und unbeweglich mit dieser zusammengelöthet. Der Contactstab trägt an einem Ende unten ein viereckiges Platinplättchen a′, welches auf einem andern Platincontacte aufruht und dagegengepresst wird durch eine Feder b′, welche an dem Boden des messingenen Axenlagers festgeschraubt ist und gegen das andere Ende des Contactstabes andrückt, dieses also hebt, das andere senkt. An dem Messingklotze des Axenlagers befindet sich noch eine Klemme c′, welche dem Contacte der Wippe den Strom zuführen soll. Der zweite Contact ruht auf einer Schraube d′, welche selbst in einem messingenen Klotze auf- und niedergehen kann und durch die Kammmasse von dem andern Klotze wohl isolirt ist. Der Klotz des zweiten Contactes ist vorne mitten an der schmalen Brettseite angebracht und trägt auch eine Klemme e′ zur Aufnahme des zweiten Leitungsdrahtes. Fällt also der Hammer von gegebener Höhe herab, so schlägt er mit stets derselben Geschwindigkeit den Contact weg und öffnet den primären Kreis.

Es bleibt uns endlich noch derjenige Theil des Apparates zu betrachten, an welchem der Hammer einen Kreis schliessen soll. Unterhalb jener Platinspitze, welche am Kopf des Hammers befestigt ist, befindet sich abermals ein von allen übrigen wiederum ganz isolirter Metallklotz von 0,6 Cm. Dicke, 2 Cm. Breite und 4 Cm. Länge, in welchen ein cylindrisches Gefäss f′ aus Eisen, das unten eine Schraube trägt, eingeschraubt werden kann. Dieses Eisengefäss wird dann mit Quecksilber gefüllt und steht so, dass der herabfallende Hammer mit der Spitze ohne anzustossen in das Quecksilber hineindringt. Der Messingklotz des Eisengefässes trägt aber wiederum zur Aufnahme des Leitungsdrathes eine Klemme g′, während der andere Leitungsdraht an die Klemme des Axenlagers kommt, welches den Hammer trägt. Letztere Einrichtung hat sich nicht bewährt, weil durch die Erschütterung des herabgefallenen Hammers zu grosse Uebelstände wegen des aus dem Näpfchen herausspringenden Quecksilbers erzeugt wurden, weshalb ich für gewöhnlich das Quecksilbergefäss auf einer

Digitized by Google

anderen Unterlage aufstellte, als derjenigen des Hammers, sodass dann keine Erschütterung mehr entstehen konnte. Das Quecksilber ist natürlich stets äusserst rein zu erhalten und erweist sich dann zu dieser Art zu schliessen ganz vorzüglich brauchbar, wie die Versuche sofort ergaben.

Es bleiben nunmehr noch zwei kleine Nebenvorrichtungen am Apparate zu erwähnen. Die erste ist ein unmittelbar unter dem einen Ende der Contactwippe befindlicher Metallklotz, welcher den Zweck hat, den Stoss des herabfallenden Hammers abzufangen, welcher jenes Ende gegen den Klotz niederdrängt. Die zweite Vorrichtung befindet sich unter der Mitte des Hammerstieles und hat zum Zweck, den Hammer, nachdem er auf den Metallklotz aufgeschlagen hat, sofort zu fixiren, sodass er durch die elastische Kraft des Brettes nicht wieder emporgeschnellt wird und so den Contact wieder schliesst, den er soeben öffnete. Wenn der Hammer nicht sehr hoch herabfällt, kann man sich des Fangapparates entschlagen, während er sonst nothwendig ist.

Die Einrichtung des Fangapparates ist folgende. Auf der untern Fläche des vierseitigen prismatischen Hammerstieles ist ein dreiseitiges prismatisches Eisenstück h′, welches jederseits den Stiel überragt, so befestigt, dass die Basis des Prisma's fest auf der Hammerstielfläche aufliegt, während die beiden anderen Flächen, welche einen sehr spitzen Winkel mit einander bilden, unmittelbar nach unten sehen. Die Längenaxe des Prismas ist aber senkrecht auf der Längenaxe des Hammerstieles. Unmittelbar unter dieser am Stiele angebrachten Vorrichtung ist in das allgemeine Brett ein Metallklotz i′ von Messing eingelassen von 5 Cm. Länge, 1,5 Cm. Breite, 0,6 Cm. Dicke. In der Mitte dieses Klotzes befindet sich eine viereckige Grube k′, durch welche quer senkrecht zur Längenrichtung des Hammerstieles in horizontaler Richtung eine Axe geht, um welche sich das sofort zu beschreibende Eisenstück drehen kann, soweit es die Ränder der viereckigen Vertiefung gestatten. Dieses also vor- und rückwärts bewegliche Eisenstück trägt zwei senkrecht nach oben gerichtete Fortsätze l′, welche dem Stiele des Hammers gerade zwischen

Digitized by Google

sich Raum lassen, während sie nach oben, wenn der Hammer am tiefsten liegt, um etwas die untere Fläche überragen. Diese beiden Fortsätze enden nun nach oben so, als ob ein Prisma mit seiner Basis so auf den Fortsatz aufgesetzt wäre, dass seine eine Fläche die Verlängerung des Fortsatzes darstellt, also nahezu senkrecht ist, während die zweite Fläche sich etwas nach oben kehrt und parallel ist der einen und vordern Fläche des am Hammerstiele befindlichen Prismas, während die dritte horizontale Prismafläche nur zum Theile auf dem Fortsatz aufsitzt, und zwar nach der hinteren Seite nur mit der Kante vorspringt, also frei mit einem Theile ihrer horizontalen Fläche nach abwärts sieht. Zwei Federn m′, welche auf den das Ganze tragenden Metallklotz aufgeschraubt sind, drängen nun die beiden Fortsätze stets in eine bestimmte Lage, so zwar, dass der herabfallende Hammer mit der einen Fläche des an ihm befestigten Prismas unmittelbar auf die parallele Fläche der beiden Prismen trifft, welche auf den Fortsätzen ruhen. Durch die Wucht des Hammers schiebt sich nun die Fläche des obern Prismas über die Fläche des untern nach abwärts, während der Fangapparat also zurückgedrängt wird gegen die Federn, die ihn in seiner Lage zu erhalten streben. Beide Prismakanten kommen endlich über einander, in welchem Augenblicke die Federn die unteren Prismen mit ihren unteren Flächen über die oberen Flächen der oberen Prismen schieben, sodass nunmehr dem Hammer ein Zurückschnellen nach oben unmöglich gemacht ist. An einem der Fortsätze befindet sich noch ein kleiner Griff, um die unteren Prismen zurückdrücken und den Hammer also wieder heben zu können.

Der ganze Apparat ist zum Theil einem Apparate des Herrn Siemens nachgebildet, welcher einem ähnlichen Zwecke diente und wurde theils in der Werkstätte der Herren Siemens und Halske, theils in der des Herrn Sauerwald dahier angefertigt. Als ich nunmehr an diesem Hammer die Prüfung seiner Leistungen unternahm, begann ich zunächst die Reizung mit dem Oeffnungsinductionsschlag für den Fall zu untersuchen, dass derselbe das Maximum der

Zuckung nicht herbeiführte. Zu dem Ende wurden also die beiden Drathenden der primären Spirale mit den betreffenden Contacten verbunden, von denen die eine an der Contactwippe, die andere an der Contactschraube befindlich ist. Ich wählte zunächst nur eines meiner kleinen Grove'schen Elemente, und entfernte, um die Variabilität des Electromagnetismus zu beseitigen, die gefirnissten Eisendrähte aus dem Innern der primären Rolle des Schlitten-Magnetelectromotors von du Bois-Reymond. Die Feder desselben wurde durch die Schraube festgestellt, Die Stärke der Reizung modificirte ich nun durch Verschiebung der secundären Spirale und führte den Inductionsstrom auf die oben auseinandergesetzte Weise durch unpolarisirbare Electroden dem Nerven zu, welcher sich im feuchten Raume des Myographions befand. Die Bedienung des Electromagneten, welcher den Hammer trug, geschah nur mit Hülfe einer kleinen Daniell'schen Kette, weil die stärkere Grove'sche den Eisenkern oft dauernd magnetisirte, so dass der Hammer im gegebenen Augenblick nicht abfiel. Obwohl nun alle Axen äusserst sanft gingen, und auf das Sorgfältigste die Schraubenzapfen der Axen eingestellt waren, so dass absolut keine seitliche Verschiebung zu bemerken war, so erhielt ich doch ganz und gar unbefriedigende Resultate. Bald nämlich zuckte der Muskel stark, bald schwach, was durch die Striche gemessen wurde, welche die Spitze des Myographions auf die Platte aufzeichnete. Die Zuckungsdifferenzen betrugen zwar im Allgemeinen nicht das Maximum der Zuckung, waren aber offenbar so gross, dass jede feinere Bestimmung illusorisch werden musste. Woran konnte dies liegen? Vielleicht, dachte ich mir, ist der secundäre Kreis nicht überall ausreichend metallisch geschlossen, oder vielleicht verändert jeder Funke am Contacte des primären Kreises so die Metallflächen, dass der Erfolg der Oeffnung nicht das eine Mal so ausfällt, wie das andere Mal, obwohl die Bedingungen ganz gleich zu sein scheinen. Das Nächste, was also vorgenommen wurde, bestand darin, alle Verbindungen der Dräthe des secundären Kreises entweder zu löthen oder durch Quecksilber

herzustellen, in welches die frisch amalgamirten Drähte tauchten. Ja sogar die Enden der secundären Spirale amalgamirte ich, sowie auch die Platten, welche gegen sie geschraubt werden. Die Klemmen dieser Platten aber, welche die Pole der secundären Spirale darstellen, amalgamirte ich in ihren Bohrungen ebenfalls, sowie auch die Spitzen der Schrauben, welche die amalgamirten Drathenden fassen sollten, durch welche der Strom von dem Inductionsapparat den thierischen Theilen zugeführt werden sollte. Somit war wirklich überall im secundären Kreise vollkommen continuirliche Metallleitung hergestellt. Die Veränderung des Contactes im primären Kreis durch den Oeffnungsfunken lässt sich nicht eliminiren, weshalb ich diesen Uebelstand durch grosse Widerstände zu beseitigen hoffte, welche ich in den primären Kreis einschaltete, um auf diese Weise die beim Oeffnen nicht immer in derselben Weise sich folgende Vermehrung des Widerstandes unwirksam zu machen. Denn man muss sich denken, dass, obwohl die Oeffnung sehr schnell geschieht, dennoch dieser Vorgang eine gewisse, wenn auch sehr kleine Zeit dauert, wo allmählig die sich berührenden Flächen der Contacte kleiner und kleiner werden, um endlich zu verschwinden. Ich schaltete zu dem Ende eine mit concentrirter Kupfervitriollösung gefüllte Röhre in den primären Kreis ein. Dieselbe war zweimal rechtwinkelig gebogen und tauchte in ein Gefäss mit derselben Lösung, welcher der Strom durch Kupferelectroden zugeführt wurde. Die Länge der Röhre betrug 14 cm. und ihr Durchmesser 0,4 cm. Um aber nunmehr noch eine Induktion von ausreichender Stärke zu erhalten, da ich ohne Eisenkerne arbeitete, musste eine Säule von 6 Grove'schen Elementen in Gebrauch gezogen werden. Nunmehr hoffte ich aber bessere Wirkungen zu erlangen. Doch vorher traf ich noch alle Vorsichtsmassregeln zur Vermeidung der unipolaren Induktionswirkungen. Der Oberschenkelknochen, welchen die Metallklammer umfasst, wurde also vorher sorgfältig von allem Fleische befreit und abgeschabt, sodann aber mit einer Hose von einer Cautschoucröhre bekleidet, und so eingeklemmt, dass der Schenkel

von der Klammer durchaus isolirt war. Der Eisenhaken aber, welcher durch die Achillessehne gesteckt war, wurde an dem Rähmchen, das den Schreibhebel trägt, erst durch eine seidene Oese befestigt. Somit war Schenkel und Nerv wohl isolirt. Das Gleiche geschah mit dem Inductionskreise und der primären Kette, welche ich jedes einzeln auf Tischchen mit Glasfüssen stellte. Die Dräthe selbst gingen stets durch die Luft und waren an Glasoesen aufgehangen, damit sie nicht irgendwo mit einem Leiter in Berührung kommen möchten. Der feuchte Raum aber war nie ganz mit Wassergas gesättigt. In der That erwies sich nunmehr die Vorrichtung als gesichert gegen unipolare Ableitungen. Denn als ich den Nerven zwischen Muskel und Electrode des Inductionsstromes durchschnitt, und dann wieder zusammenklebte, konnte ich die secundäre Rolle ganz über die primäre schieben, ohne dass unipolare Zuckungen entstanden, welche sofort eintraten, wenn ich den Muskel mit der Hand ableitend berührte. Nach allen diesen Vorbereitungen ging ich nun zur erneuten Prüfung der Wirkung des Fallapparates, den ich für alle dem Hammer möglichen Fallhöhen durchprobirte. Aber wie erstaunte ich zu finden, dass sich die Sache um Nichts gebessert, ja vielleicht um Vieles verschlechtert hatte. Denn bald war die Zuckung sehr schwach, bald sehr stark, bald Null — scheinbar immer unter denselben Verhältnissen. Mit einem Worte, die Methode war so schlecht, wie sie nur sein konnte, so sorgfältig ich auch Alles erwogen zu haben schien, wie es die Theorie erfordert. Was eigentlich der Grund war von dieser ausserordentlichen Inconstanz der Zuckung, ist mir zu ermitteln nicht gelungen, obwohl ich es an Sorgfalt nicht habe fehlen lassen. Gleichwohl konnte ich mir nicht vorstellen, dass der Grund in so raschen Variationen der Erregbarkeit des Präparates liegen möge, die sich doch so ziemlich constant erweist, wenn man bei Reizung durch einen Kettenstrom einfach mit der Hand öffnet und schliesst. Zu einer vollkommeneren Herrichtung der Apparate aber zur Reizung sah ich wenigstens keinen Weg. Die Frage, die ich mir nun vorlegte, war die, ob vermöge der Natur der Ner-

ven vielleicht der so äusserst kurz dauernde Inductionsstrom keine constanten Erfolge giebt, obwohl freilich nicht ganz leicht abzusehen ist, wie in der Kürze der Zeit bei übrigens gleichen Umständen der Grund einer Inconstanz der Reizungsgrösse liegen soll. Es muss indess jedenfalls den Werth der Reizstärke irgend ein inconstanter Factor afficiren, welcher selbst eine Function der Stromdauer ist, mit deren Abnahme die Schwankungen seiner Grösse zunehmen.

Sei dem im Speciellen, wie ihm wolle, da ich keine nähere Erklärung kannte, ging ich zunächst darauf aus, sie praktisch zu verwerthen und fand eigentlich gegen mein erstes Vermuthen mich vollkommen belohnt. Zunächst sprach schon für meine Ansicht, dass die Zuckungsdifferenzen nicht so bedeutend waren, als ich im primären Kreise keinen grossen Widerstand eingeschaltet hatte, so dass der Abfall des primären Stromes also langsamer stattfand, der Oeffnungsschlag mithin längere Zeit dauern musste. Die Abweichungen mussten nun noch kleiner werden, wenn ich aus der primären Spirale den Eisenkern nicht entfernte. In der That zeigte es sich jetzt, dass die Differenzen der Zuckungen ausserordentlich verringert waren, so dass ich sogar damit zu arbeiten mich entschloss, obschon ich doch nach einiger Zeit gewahrte, dass für feinere Untersuchungen auch diese Methode mich im Stiche liess. Ich wandte mich deshalb schliesslich und endlich zu dem Schliessungsinductionsschlag und fand, was ich suchte und brauchte. Wurde nämlich durch den Hammer der primäre Kreis in Quecksilber, dessen Oberfläche stets rein erhalten wurde, geschlossen, so erhielt ich oft Reihen von 30 und mehr Zuckungen, die sich noch nicht um $\frac{1}{20}$ Mm. von einander unterschieden, wie ich durch mikrometrische Messung bestimmte. Am günstigsten wirkte der Strom wiederum, wenn der Hammer aus möglichst geringer Höhe herabfiel. Freilich fand ich, dass für stärkere Reize, die nahe das Zuckungsmaximum erzeugen, die Resultate mehr, aber nicht viel mehr, von einander abweichen, was höchst wahrscheinlich in der dann deutlich bemerkbar werdenden Nachwirkung der vorhergehenden Reizung ihren Grund hat, die selbst mit der Zeit

wieder variirt, d. h. nach der Oeffnung stets abnimmt. Hiermit war denn, meiner Ansicht nach, wenigstens für meine Untersuchung geleistet, was nothwendig schien zu einer exacten Durchführung der vorgesetzten Probleme; ja ich hoffte selbst nunmehr sehr feinen Veränderungen des Nerven nachgehen zu können. Ich habe mich deshalb in der Folge fast ausschliesslich des Schliessungs-Inductionsstromes bedient, wo ich mit Inductionsströmen zu reizen hatte, und nur an wenigen Stellen den Oeffnungsschlag angewendet. Noch wollte ich mich überzeugen, wie es bei dem Schliessungsschlag mit den unipolaren Ableitungen stehe, und fand zu meiner grossen Befriedigung, dass, wenn selbst zwei Grove'sche Elemente im primären Kreise vorhanden sind, die secundäre Rolle ganz über die primäre geschoben war, und ich den Schenkel ableitend berührte, dessen durchschnittener Nerv auf den Electroden des Induktionsstromes lag, nichts destoweniger keine unipolare Wirkung eintritt.

---

4. Der Rheochord.

Da ich nothwendig eines Apparates bedurfte, welcher gestattete, die Stromstärken auf eine sichere und bequeme Art zu reguliren, so bediente ich mich, nach du Bois-Reymond's Vorgang in der Physiologie, hierzu des Rheochordes. Das Princip dieses Apparates besteht darin, zu den thierischen Theilen, durch welche der Strom geleitet werden soll, eine metallische Nebenschliessung anzubringen, durch deren variabeln Widerstand jeder beliebige Werth der Stromstärke dem Nerven zugeführt werden kann. Die Feinheit der Abstufung mit diesem Apparate ist unbegränzt und der Empfindlichkeit eines Froschschenkels entschieden bei weitem gewachsen. Die Einrichtung an meinem Rheochord war meist so, dass der Widerstand des die thierischen Theile durchsetzenden Zweigstromes constant erhalten wurde, während nur der Wi-

Digitized

derstand der metallischen Nebenschliessung sich änderte. Wünschenswerth ist es, mehrere derartige Instrumente zu besitzen, von denen eines dazu dient, sehr schwache Zweigströme äusserst fein abstufen zu können, und darum Draht aus gut leitenden Metalle hat, während das andere bestimmt ist, dem nebenschliessenden Drathe die grössten Widerstände zu geben, welche bei diesen Untersuchungen gebraucht werden. Ich will das letztere Instrument den grossen Rheochord nennen und seine Beschreibung hier sofort folgen lassen.

Auf einem Brette von 6 Fuss Länge, 13 Zoll Breite sind 8 Neusilbersaiten von 0,3 Mm. Dicke parallel und in gleicher Entfernung von einander aufgespannt. In der Nähe ihrer Befestigung an den beiden schmalen Seiten des Brettes befinden sich zwei Querleisten von Holz, die eine an dem einen, die andere an dem andern Ende des Brettes, über welche Leisten die gespannten Saiten hinlaufen. Die zweite Saite ist mit der dritten, die vierte mit der fünften, die sechste mit der siebenten ein für allemal durch eine metallische Leitung an demselben Stege verbunden, indem 3 sonst von einander isolirte dicke Kupferplatten auf die eine Querleiste aufgeschraubt sind und immer zwei betreffende Saiten mit einander leitend verbinden, welche über sie hinweg gespannt sind. Ausserdem ist aber noch die erste Saite mit der zweiten, die dritte mit der vierten, die fünfte mit der sechsten, die siebente mit der achten durch einen metallischen Schieber von sehr geringem Widerstande verbunden, durch welchen zwei beliebige gegenüberstehende Stellen zweier gegebenen, sonst von einander isolirten Saiten mit einander in leitende Verbindung gesetzt werden können. Die Enden der Säule werden mit denjenigen Enden der ersten und achten Saite in Verbindung gesetzt, welche auf derselben Seite des Steges liegen, wo auch die festen Metallbelege sind. Dieselbe Klemme nimmt auch die Drähte auf, welche dem Nerven den Strom zuführen sollen, so also dass der Strom sich an jenen Enden in zwei Zweige spaltet, deren einer durch den Rheochord, der andere aber durch den Nerven geht. Lehnen sich sämmtliche Metallschie-

ber an die festen Metallbelege, so ist der Widerstand so klein, dass kein bemerkbarer Stromzweig durch den Nerven geht. Befinden sich aber sämmtliche Schieber an dem entgegengesetzten Ende der Drähte, so ist die ganze Rheochordlänge eingeschaltet, also 8×170 Cm. Neusilberdraht von 0,3 Mm. Durchmesser, und der durch Nebenschliessung erhaltene den Nerven durchsetzende Strom hat das Maximum seiner Grösse. Durch die Veränderung der Lage jener Schieber hat man also im Augenblick jede beliebige unter jenem Maximum gelegene Stromstärke. Man könnte nun auf den ersten Blick versucht sein zu glauben, dass dieser Apparat darum wenig brauchbar sein möchte, weil der verwendbare Zweigstrom immer noch einen viel zu geringen Werth habe. Denn der Widerstand des Drahtes verschwinde immer noch gegen den der thierischen Theile und der zur Vermeidung der Polarisation eingeführten ungeheuren Widerstände.

Diese Betrachtung ist indessen nicht genau, wie sich aus Folgendem ergiebt. Es sei A gleich dem in der Säule vorhandenen Widerstande + demjenigen, welcher aus den Drahtleitungen bis zur Stelle der Stromtheilung resultirt, B gleich dem Widerstande der jedesmal eingeschalteten Rheochordlänge, C gleich dem Widerstande in dem Stromzweige, der den Nerven durchfliesst, E endlich gleich der Summe der electromotorischen Kräfte der Säule, so ist die Stärke des den Nerven durchfliessenden Stromes:

$$S = \frac{EB}{AB + AC + BC} = \frac{EB}{AB + (A + B)C}.$$

Stellt man nun solche Bedingungen her, dass A gegen B verschwindet, so wird

$$S = \frac{EB}{(A + C)B} = \frac{E}{C},$$

da A auch gegen C verschwindet.

Ich habe mich nun an dem Multiplicator überzeugt, dass für den Widerstand meiner Vorrichtungen zur Vermeidung der Polarisation und für den einer zehngliedrigen Grove'schen Säule der kleineren Art diese Bedingungen nahezu erfüllt sind, wenn B den an meinem Rheochord möglichen Maximal-

werth erhalten hat. Denn als der durch Nebenschliessung erhaltene Strom die Nadel auf 12° constanter Ablenkung hielt, ging dieselbe auf 14°, als ich die Rheochordleitung unterbrach. Als stromprüfenden Instrumentes bediente ich mich des mir von Prof. du Bois-Reymond freundlichst zu Gebote gestellten und den Physiologen bekannten Museumsmultiplicators mit halber Länge, zu welcher ich ausserdem noch eine Nebenschliessung aus Neusilberdraht anbrachte, weil der Strom sonst die Nadel fast an der Hemmung festgehalten haben würde.

Der kleine Rheochord besteht aus einer einzigen Saite von Eisendraht von 0,3 Mm. Dicke. Die Enden der Säule sind mit den beiden Enden der Saite in Verbindung, sowie der eine Draht, welcher nach den thierischen Theilen führt. Der andere ist gegen den ersten verschiebbar, sozwar, dass ihre Distanz der Null gleich werden kann, wo sich dann beide Drähte der Nebenschliessung für den thierischen Theil berühren. Der verschiebbare Draht ist straff vielemal in einer Spirale, deren Gänge sich eng berühren, um die Eisensaite geschlungen, so aber, dass die Spiralhülse dem festen Drahte abgekehrt ist, weil sie sonst verhindern würde, der Rheochordleitung den Widerstandswerth Null zu ertheilen. Der Eisendraht muss natürlich stets auf das Sorgfältigste blank gehalten werden, zu welchem Ende man ihn von Zeit zu Zeit mit Schmirgelpapier reinigt. Zuweilen bediente ich mich nun auch noch eines anderen kleinen Eisenrheochords mit zwei Saiten, dessen Einrichtung im Principe mit der vorherbeschriebenen des grossen Instrumentes übereinkam.

Im Allgemeinen sind nun natürlich, das ist klar, die Stromstärken im Nerven den eingeschalteten Längen der metallischen Nebenschliessung nicht proportional, was ja hier meist auch nicht nothwendig ist; es genügt, dass wir den Strom auf das Feinste abzustufen vermögen nach jenem durch die obige Formel gegebenen Gesetze, wenn S betrachtet wird als Funktion von B, während alle übrigen Werthe constant sind.

Es kann aber der Fall eintreten, dass die Proportionalität wünschenswerth wird, und dann ist dies auch leicht zu erreichen, durch die Herstellung derjenigen Bedingungen, welche uns für diesen Fall die Formel vorschreibt. Es kann aber

$$S = \frac{EB}{AB + AC + BC}$$

nur dann B proportional werden, wenn der Divisor des rechten Ausdruckes seine Abhängigkeit von B aufgiebt. Dies muss nun dann stattfinden, wenn B gegen A und gegen C verschwindet; denn in diesem Falle wird

$$S = \frac{EB}{AC}$$

und ist also B streng proportional. In unseren Versuchen sind aber diese Bedingungen sehr oft erfüllt; besonders so lange wir mit geringen Längen des Eisenrheochordes arbeiten, da der Widerstand der thierischen Theile und der zur Vermeidung der Polarisation eingeführte ungeheuer sind und ausserdem der Widerstand der Kette an sich gegen einige Centimeter gut leitenden Drahtes beträchtlich ist. Jedenfalls können wir aber stets jene Bedingungen der strengen Proportionalität herstellen, indem wir in den Säulenkreis grössere Widerstände einführen. Dies dürfte ausreichen, um den Leser für die Folge zu orientiren.

---

5. Der Multiplicator.

Als strom prüfenden Instrumentes bediente ich mich des Museumsmultiplicators, bald mit halber, bald mit ganzer Länge. Derselbe ist den Physiologen durch du Bois-Reymond's Beschreibung bekannt, weshalb ich mich auf dieselbe berufen kann. (S. du Bois-Reymond's Untersuchungen, Bd I. p. 202.) Der Multiplicator war stets in dem Stromkreise eingeschaltet, theils um die Gleichartigkeit der Electro-

den zu verbürgen, theils um mich von den Veränderungen, welche während des Laufs der Versuche mit der Stromstärke vor sich gehen zu unterrichten. Man sieht dann bald, in welche Irrthümer man sich begeben würde, wenn man dieses Compasses sich entschlüge und man begreift, warum immer und immer fort die verschiedene Erregbarkeit der Frösche herhalten muss, wenn es dem Experimentator nicht gelingen will, ein Phänomen constant zu machen, das es in Wahrheit doch ist. — Der Multiplicator war mir durch die Güte von Prof. du Bois-Reymond zu diesen Untersuchungen für lange Zeit zu Gebote gestellt worden, weshalb ich demselben hierdurch meinen Dank abstatte. — Die Empfindlichkeit, welche das kleine Instrument hatte, war nicht unbedeutend, da der Muskelstrom ohne Polarisation die Nadel auf 40° constanter Ablenkung hielt.

---

6. Der Inductionsapparat.

Als Inductionsapparat bediente ich mich des Schlittenmagnetelectromotors, über dessen speciellen Gebrauch hier einige Bemerkungen gemacht werden müssen.

Die Abstufung der reizenden Stromstärken in der secundären Spiräle lässt sich zwar auf verschiedene Art ausführen, wie z. B. dadurch, dass man die primäre Spirale als Nebenschliessung in ein Rheochord von dickem Drathe aufnimmt, wodurch jede beliebige Feinheit der Einstellung der Stärke des primären Stromes ermöglicht ist. Ich habe mich indessen dieser sonst sehr feinen Methode nicht bedient, sondern die Einstellung nur dadurch bewirkt, dass ich die inducirte Rolle der inducirenden mit der Hand auf dem Schlitten näherte oder entfernte. Da der Schlitten sehr sanft und sicher in seinem Geleise ging, so stand ich davon ab, jene Näherung und Entfernung etwa mit einer Mikrometerschraube zu bewerkstelligen, um so mehr, als ich mit der Hand zu-

recht kam. Doch will ich nicht leugnen, dass es zuweilen wünschenswerth gewesen wäre, besonders, wenn man mit wenig erregbaren Fröschen arbeitet, welche zwingen, nahe an die primäre Spirale mit der secundären heranzugehen, wo dann eine sehr geringe Verschiebung bereits bedeutende Veränderungen in der Stärke der Inductionsströme zur Folge hat. Auf der andern Seite aber hat man wohl zu bemerken, dass es im Allgemeinen nicht zulässig sein würde, die Einstellung so herzustellen, weil man nämlich bei dem vielen Probiren, um die richtige Stromstärke zu finden, den Nerven modificirt und darum doch nicht recht zu Stande kommt. Ich fand es für weit besser, beim Beginne des Versuches die secundäre Spirale an diejenige Stelle zu setzen, wo die erregbarsten Froschschenkel gewöhnlich keine Reactionen mehr zeigten, dann nach einer Probe rasch um etwa so viel vor oder zurückzuschieben, als mir passend schien, worin man bald eine so grosse Uebung erlangt, dass die secundäre Spirale nach 3—6 Zuckungen an ihrer richtigen Stelle steht. Wollte man jetzt noch mit einer Mikrometerschraube einstellen, so würde man den Froschschenkel im Allgemeinen selbst mehr verändern, als durch Variation der Stromstärke mit der Schraube gut gemacht werden kann. Hat man deshalb diejenige Stromstärke ungefähr erlangt, welche passt, so beginne man das Experiment.

Den Inductionsschlag selber muss man nur immer in der einen Richtung durch den Nerven leiten, welche beim eigentlichen Versuche in Anwendung kommen soll. Nie liess ich deshalb den Oeffnungsschlag durch den Nerven gehen, wenn ich mit dem Schliessungsschlage arbeitete, nie den Schliessungsschlag, wenn ich mich des Oeffnungsschlages als Reiz bediente. Denn wenn man dies thäte, würde man einmal den Nerven unnöthig ermüden, und ausserdem in den Versuch eine neue Complication einführen, deren Wirkungen nicht gewünscht werden. Da man aber nie vermeiden kann, dass in der secundären Spirale Schliessungs- und Oeffnungsschlag entstehen, so lange man ihre Abstände nicht verändern will, besonders wenn man, wie es hier geschehen

ist, rasch hinter einander entweder nur Schliessungs- oder nur Oeffnungsschläge durch den Nerven senden will, so muss man sich einer passenden Methode bedienen, den einen Inductionsschlag abzublenden. Eine Unterbrechung deshalb in der secundären Spirale anzubringen, ist darum durchaus verwerflich, weil die electromotorische Kraft trotzdem hohe Spannungen an den Endpolen hervorbringt, zumal wenn es sich um den Oeffnungsschlag handelt, wo dann stets eine geringe Erregung durch unipolare Wirkung stattfindet. Denn man hat sich vorzustellen, dass diese unipolare Wirkung nicht etwa dann erst beginne, wenn die dem einen Pole gegebene Ableitung unendlich ist; sondern die unipolare Wirkung beginnt bereits bei einer relativ geringen Oberfläche, mit welcher der Pol in Berührung steht, und zwar um so eher, je höher die Spannungen sind, welche die durch Induction erzeugte electromotorische Kraft hervorruft. Mit der Grösse jener Ableitung nimmt dann die unipolare Wirkung in raschem Maasse zu, und zwar ist die unipolare Reizung bei beschränkter ableitender Oberfläche an einem gegebenen Punkte derselben um so grösser, je näher dieser Punkt dem unipolar wirkenden Metallpole liegt. Zum Beweise dieses Satzes berufe ich mich auf folgendes Experiment. Man isolire Inductionsapparat und Kette auf Glas, lasse die mit Seide besponnenen Drähte nur durch die Luft gehen zu der stromzuführenden Vorrichtung, welche auf Glas steht. Alles Glas ist vorher wohl getrocknet und erwärmt worden. Nun lege man auf eine grosse Glasplatte eine Reihe von 4—6 Froschschenkeln so, dass der Nerv des ersten auf einem Platinbleche der stromzuführenden Vorrichtung ruht, welches mit dem einen Pole der secundären Inductionsrolle in leitender Verbindung steht, während das andere Blech nicht zu dem zweiten Pole führt. Der erste Schenkel ruht nun auf der Glasplatte. Auf dem Fusse dieses Schenkels liegt der Nerv des zweiten Präparates, welches also ganz auf der Glasplatte liegt und von dem ersten fast um die Länge seines Ischiadicus entfernt ist, durch welchen es mit diesem in leitender Verbindung steht. Der dritte Schenkel wird ebenso mit dem zweiten in Verbindung gesetzt,

Digitized by Google

der vierte mit dem dritten und so fort. Man setze nun den Magnetelectromotor in Gang, während die secundäre Spirale am Ende des Schlittens steht, also in grösster Entfernung von der primären Spirale. Nunmehr schiebe man mit einem Glasstabe die secundäre Spirale vorwärts gegen die primäre. Sobald sie an sie oder über sie kommt, fangen die Schenkel an zu zucken, im Anfange aber nur der Schenkel, dessen Nerv auf dem Bleche liegt, dann bei weiterer Steigerung der Spannungen auch der zweite, dann der dritte und so fort. Dieses Verhalten giebt uns mithin die Vorstellung, dass in der Nähe des metallischen Poles, an dem sich unsere Nerven ja stets befinden, die unipolare Wirkung auch bei der scheinbar sorgfältigsten Isolation stets sehr zu fürchten bleibt, weshalb wir uns auf andere Weise als durch blosse Unterbrechung des secundären Kreises vor den Wirkungen der Inductionsspannung sichern müssen. Eine vollkommen brauchbare Methode würde darin bestehen, zwei Unterbrechungen des Inductionskreises anzubringen, so aber, dass der thierische Theil zwischen diesen gelegen wäre. Einfacher aber ist die von mir bereits in meiner Dissertation beschriebene, welche darin besteht, eine metallische Nebenschliessung von geringem Widerstande zu dem thierischen Theile anzubringen, wenn der in der secundären Spirale erzeugte Inductionsschlag ihn nicht durchsetzen soll. Dies ist denn auch bei meinen Versuchen stets der Fall gewesen.

Wenn man aber schnell hinter einander reizen will, so sind die vielen Manipulationen nicht allein störend und lästig, sondern man läuft auch Gefahr, dies Geschäft öfters zu versehen, in welchem Falle man dann consequenter Weise den Versuch aufgeben muss. Ich habe mich deshalb stets einer eigenen Vorrichtung bedient, welche von selbst immer zur richtigen Zeit den Oeffnungsschlag abblendete, ohne dass ich mich irgend darum zu bekümmern brauchte. Diese Vorrichtung, welche sehr bequem, einfach und zeitersparend ist, besteht in Folgendem. Die Idee aber, von welcher ich ausging bei der Construction derselben, zielte dahin, dass der primäre Strom, nachdem er geschlossen worden, und also

der Schliessungsinductionsschlag geschehen war, selber eine Nebenschliessung für den thierischen Theil im secundären Kreise anbrächte, welche etwas länger wirksam bleiben sollte, als er selbst vorhanden war. Denn dann würde der Oeffnungsschlag durch diese Nebenschliessung abgeblendet werden. Zu dem Ende nun kittete ich auf die Feder der primären Spirale einen sehr leichten, dünnen Glasstab und zwar an derjenigen Stelle an, wo die Feder bei ihren Bewegungen die grösste Excursion machte. Dieser sehr leichte Glasstab trug nun an seinem freien Ende einen feinen halbkreisförmigen Kupferdraht, welcher vertical gestellt war, mit seiner Concavität nach abwärts sah, und mit seinen beiden feinen, nicht amalgamirten Enden in ein und derselben Horizontalebene sich befand. Die beiden Drahtenden, welche aber die primäre Spirale des Magnetelectromotors aufnehmen sollten, waren nicht wie gewöhnlich mit diesem in Verbindung gesetzt, wenn die Feder vibriren soll, sondern so, dass der Strom zunächst den kleinen Electromagneten umkreiste, welcher den Anker der Feder anzieht und sein Spiel bewirkt, dann in die primäre eintrat, und nach Austreten aus derselben sofort den Inductionsapparat verliess, demnach also nicht von der Contactspitze nach der Feder ging. Der zweite, aussergewöhnlich befestigte Draht ist nämlich mit der einen der beiden Klemmschrauben in leitender Verbindung, welche sonst dazu dienen, den Extrastrom aus der primären Spirale abzuleiten. Durch Schliessung des primären Kreises kann also jetzt die Feder nicht mehr zu ihrem Spiele angeregt werden, weil sie den inducirenden Strom nicht mehr zu unterbrechen vermag. Im Augenblick der Schliessung schnappt sie deshalb auf den kleinen Electromagneten und haftet so lange, bis der Strom wieder unterbrochen wird, in welchem Momente die elastische Kraft derselben sie wieder zurückführt. Damit dies indessen stets geschehe, und sie nicht wegen rückbleibenden Magnetismus auch nach der Oeffnung noch hafte, überzog ich ihren Anker mit einer dünnen Schicht von Colophoniumkitt, wodurch die Eisenmasse desselben stets in solcher Entfernung bleiben muss, dass der geringe, in den Eisenkernen noch vorhandene

Magnetismus nach Oeffnung des primären Kreises die elastische Kraft der Feder nicht mehr aufzuwiegen vermag. Ich kittete dann zwei kleine runde Porzellannäpfchen auf ein Brett dicht neben einander, so dass ihre Mittelpunkte von einander um dieselbe Grösse abstanden, wie die beiden Enden des von dem Glasstäbchen getragenen Metallbogens. Das Brettchen selbst aber trug eine Messinghülse, welche dem Verticalstab eines allgemeinen Trägers aufgesteckt werden und so in einer beliebigen Höhe mit der Schraube der Hülse festgestellt werden konnte. Von jedem Pole der secundären Spirale führt nun ein Draht nach je einem Näpfchen und ebenso nach denselben je zwei von den Electroden, welche den thierischen Theilen angelegt werden sollten. Die beiden Näpfchen aber waren mit sehr reinem Quecksilber von spiegelnder Oberfläche gefüllt und setzten also die von der secundären Spirale kommenden Drähte in Verbindung mit denjenigen, welche von den thierischen Theilen kamen. Die in das Quecksilber tauchenden Drahtenden sind natürlich stets sorgfältig amalgamirt. Nunmehr schiebt man die beiden Quecksilbernäpfchen unter den kleinen Metallbogen, welcher von dem leichten Glasstäbchen getragen wird und stellt das Quecksilberniveau, das in beiden Näpfchen nahezu gleich hoch ist, durch Hebung oder Senkung des Brettchens so ein, dass das Spiegelbild eines Endes des Metallbogens nur sehr wenig von diesem Ende absteht. Die Schraube des Magnetelectromotors, welche die Contactspitze trägt, erlaubt nun dann noch die feinste Einstellung des Metallbogenendes. Dass ein Ende bereits in das Quecksilber taucht, schadet ja nicht. Der Mechanismus wird nun klar sein. Im Augenblicke, wo der primäre Strom geschlossen wird, wo also auch der Schliessungsinductionsschlag entsteht, ist die Nebenschliessung noch nicht im Quecksilber, da das erst stattfindet, nachdem der kleine Electromagnet, in welchem der Magnetismus langsam ansteigt, diejenige Stärke erlangt hat, welche grösser ist, als die elastische Kraft der Feder, mit der sie sich gegen den Contactstift andrückt und nachdem dann unter dem Einflusse jener Kraft die Feder denjenigen Weg zurückgelegt hat,

Digitized by Google

welcher nothwendig ist, damit der Metallbogen sich mit beiden Füssen in das Quecksilber senke. In dieser Zeit ist aber der Inductionsschlag längst vorbei. Während nun der inducirende Strom auf constanter Höhe fliesst, tauchen die beiden Füsse des Metallbogens tief in das Quecksilber, weil der Anker so tief als möglich auf den kleinen Electromagneten herabgestiegen ist. In dem Augenblick also, wo der primäre Kreis geöffnet wird, ist eine metallische, gut leitende Nebenschliessung für den thierischen Theil vorhanden, so dass der Oeffnungsschlag durch diese abgeblendet wird. Denn bei dem langsamen Schwinden des Magnetismus, besonders aber bei der Länge des Weges, den die Feder zurückzulegen hat, ist der Oeffnungsschlag längst geschehen, wenn die Nebenschliessung durch die elastische Kraft der Feder aus dem Quecksilber emporgehoben wird. Auf diese Weise kann man also fast beliebig rasch hintereinander Schliessungsschläge durch den Nerven schicken, während die Oeffnungsschläge gleichsam von selber abgeblendet werden. Ist die Kette gut im Stande, das Quecksilberniveau sowie die Feder passend eingestellt, und ersteres ganz rein, so wird man stets mit den Leistungen des kleinen Apparates zufrieden sein. Man versäume deshalb nicht, von Zeit zu Zeit die Quecksilberoberfläche unter den Füssen des Metallbogens mit einem Pinsel abzukehren, wenn sich hier etwas Schmutz eingefunden hat. Um bei den vielen Drahtleitungen nicht zu Irrthümern durch Nebenschliessungen und mangelhafte Isolation verschiedener Kreise von einander Gelegenheit zu geben, führe man die Drähte stets durch die Luft, und zwar über Glashacken, welche man an aufgespannten Schnüren im Zimmer aufgehangen hat.

7. Aufbewahrung der Frösche.

Es ist zwar dieser Punkt bereits von du Bois-Reymond diskutirt worden. Da er indessen nur seine Erfahrungen aus dem Gebiete der thierischen Electricität behandelt, so mögen hier für Reizversuche noch folgende Andeutungen eine Stelle finden. Die Frösche bewahrte ich stets nach der nassen Methode auf, indem dieselben in thönerne Gefässe gesetzt wurden, welche anderthalb Finger hoch mit Brunnenwasser angefüllt und oben mit einem weiten Drahtgitter überzogen waren. Im Sommer stelle man die zu Reizversuchen bestimmten Frösche möglichst kühl und erneuere das Wasser öfters an einem Tage. Nimmt man hierauf keine Rücksicht, so sind die Thiere sehr wenig leistungsfähig und sterben sogar sehr schnell. Im Winter schadet ihnen eine Kälte von nahe an 0° wenig, ja sie halten sich sogar bei dieser Temperatur vortrefflich, obschon sie so sehr zusammengezogen und frostig im Eise sitzen. Bringt man aber solche durcherkälteten Frösche in das erwärmte Zimmer, um nun an ihnen zu experimentiren, so hat man ewige Neckereien des Experimentes zu bestehen, verbraucht unnöthig seine Zeit und kommt zu keinem Fortschritt. Der Grund hiervon ist folgender. Ein so erkaltetes Präparat ist im höchsten Grade reizbar, so dass es in nicht seltenen Fällen trotz des feuchten Raumes, in dem es aufgestellt ist, und ohne dass dem Nerven etwas wiederführe, plötzlich anfängt in tetanus zu gerathen, indem erst leise Zuckungen anfangen, die dann wieder etwas aussetzen, wiederkommen und schliesslich in stärkeren tetanus übergehen, der äusserst hartnäckig ist und nach längerer Zeit noch immer am Arbeiten hindert. So habe ich oft ein Präparat nach dem andern wegwerfen müssen, indem meine Beschäftigung darin bestand, diesen seltsamen tetanus anzusehen. Bei anderen erkälteten Fröschen

kommt der Krampf nicht spontan, aber der erste geringe Inductionsreiz ist das Signal zum Losbruch. Oft verliert er sich dann wieder nach einigen Minuten. Sofort bringt aber ein neuer schwacher Reiz ihn wieder hervor, der lange nicht das Maximum der Zuckung erzeugt. Ich habe Tage darüber verloren, ehe ich bemerkte, wie man diesem Uebelstande vorbeugen kann. Es wurden nämlich die Frösche, welche in den nächsten 3 Tagen zum Experimentiren verwendet werden sollten, in das erwärmte Zimmer gebracht, und nunmehr wurde ich nicht mehr durch jene tetanischen Anfälle der Muskeln gestört, die sonst an sich interessant genug sind. Die Erklärung derselben ist meiner Ansicht nach folgende. Wie Helmholtz gefunden hat, nimmt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung mit der Kälte in dem Nerven ganz ungeheuer ab, woraus also folgt, dass eine totale Umlagerung der Atome stattfinden muss, wenn der Nerv allmälig von der wärmeren zur kälteren Temperatur übergeht. So lange er innerhalb des Frosches und im Freien sich befindet, wird dies stets so langsam nur stattfinden können, dass durch den Uebergang des einen Zustandes in den andern keine Erregung stattfindet. Sobald aber ein auf 0° durch und durch erkälteter Nerv, dessen Molekeln sich dieser Temperatur angepasst haben, nun plötzlich vollkommen entblösst in einer Temperatur von 17° R. und mehr aufgehangen wird, so werden nunmehr die Moleküle ziemlich rasch bestrebt sein, diejenigen Zustände anzunehmen, welche ihnen bei der höheren Temperatur zukommen. Es muss also jetzt eine lebhafte innere Bewegung stattfinden; da nun die Erregung des Muskels von Veränderungen des Nerven abhängt, falls diese ausreichend gross sind und schnell genug stattfinden, so ist es ersichtlich, dass und warum die Präparate scheinbar spontan in tetanus verfallen. Das ist die interessante Form eines tetanus, der trotz nicht electrischer Reizung, nicht verknüpft ist mit einer Zerstörung der Nervenfaser. Für den Experimentator aber ergiebt sich nun also aus diesem Verhalten die Nothwendigkeit, die obigen Vorsichtsmassregeln zu beobachten.

Digitized by Google

Auf diese Weise, besonders bei sorgfältiger Wässerung, erhalten sich die Thiere bis Anfangs Februar in recht gutem Zustande, sodass man vortrefflich mit ihnen jede Untersuchung anstellen kann. Freilich hat ihre Leistungsfähigkeit ab-, ihre Reizbarkeit zugenommen. Die Zunahme der Reizbarkeit ist sehr auffallend und besonders daran leicht zu erkennen, dass Ströme von äusserster Schwäche, welche noch geringer sind als der Muskelstrom, sehr leicht tetanus hervorbringen, was im Sommer in weit geringerem Grade der Fall ist. Die inneren Kräfte der Nerven sind offenbar während des Sommers bedeutender, sodass sie mächtiger der umwandelnden Kraft des Stromes sich widersetzen. Wo aber keine Veränderung des Nerven stattfindet, da kann auch keine Erregung sein.

Im Februar indessen und Anfang März werden die eingefangenen Frösche allerdings wenig brauchbar. Denn ihre Lebenseigenschaften prägen sich nur noch sehr schwach aus und verschwinden sehr schnell nach der Herstellung der Präparate. Gleichwohl habe ich auch an diesen Fröschen keine Aenderung in dem Verhalten der allgemeinen Gesetze wahrgenommen, welche sich auf die Veränderung der Erregbarkeit durch den constanten Strom und auf das Gesetz der Zuckung beziehen.

III.

Untersuchung.

Untersuchung.

Die eigentliche Untersuchung, zu welcher wir uns nunmehr wenden, werde ich in 8 Hauptabschnitten abhandeln.

Der erste Hauptabschnitt wird einen Einleitungspunkt zu erforschen haben, welcher gekannt sein muss, ehe wir es unternehmen dürfen, uns dem eigentlichen Gegenstande unserer Forschung zuzuwenden. Dieser Punkt betrifft den Einfluss des Abstandes der gereizten Stelle des Nervus ischiadicus vom Muskel auf die Grösse der Zuckung.

Die 7 anderen Abschnitte behandeln:

2) die Veränderung der Erregbarkeit vor dem aufsteigenden Strome,
3) die Veränderung der Erregbarkeit hinter dem aufsteigenden Strome,
4) die Veränderung der Erregbarkeit vor dem absteigenden Strome,
5) die Veränderung der Erregbarkeit hinter dem absteigenden Strome,
6) die Veränderung der Erregbarkeit in der aufsteigend durchflossenen Strecke,
7) die Veränderung der Erregbarkeit in der absteigend durchflossenen Strecke,
8) einige allgemeinere thatsächliche Bemerkungen.

Abschnitt I.

Ueber den Einfluss des Abstandes der gereizten Nervenstrecke vom Muskel auf die Stärke seiner Zuckung.

Wir haben in diesem Werke zu erforschen, wie sich die Erregbarkeit der verschiedenen Stellen des Nerven ändert, wenn derselbe von einer Stelle aus auf seiner ganzen Länge in electrotonischen Zustand geräth. Es ist demnach nothwendig, zu wissen, ob zwei Punkte, welche während des Electrotonus eine verschiedene Erregbarkeit zeigen, nicht bereits während des natürlichen Zustandes Unterschiede hierin darbieten. Denn wäre letzteres der Fall, so müsste dieser Unterschied erst gekannt sein, ehe man beurtheilen könnte, ob dem einen Punkte in der That eine andere Aenderung seines inneren Zustandes widerfährt, als dem andern, wenn beide in den electrotonischen Zustand treten. Unter dieser Voraussetzung des verschiedenen Verhaltens verschiedener Stellen des Nerven im natürlichen Zustande wird natürlich eine neue Complication von nicht unbedeutender Art in die Erforschung jener, durch den Electrotonus erzeugten Aenderungen herbeigeführt. Die Untersuchung nun, welche zunächst diesem Gegenstande zugewandt wurde, bestätigte allerdings, dass es nicht gleichgültig für den Erfolg der Zuckungsstärke ist, an welcher Stelle der Nerv vom Reize angegriffen wird. Die zu beobachtenden Unterschiede sind ausserdem ganz ausserordentlich gross, und befolgen zum Glück im Allgemeinen ein zwar merkwürdiges und auffallendes, aber doch einfaches Gesetz, welches sich folgendermassen aussprechen lässt:

„Ein und derselbe Reiz, welcher nach einander zwei verschiedene Stellen der Nerven trifft, erregt den Muskel nicht auf gleiche Weise, sondern diejenige Reizung wirkt heftiger, welche die vom Muskel entferntere Stelle angreift.“

Ich war mir nun wohl bewusst, dass die Physiologen dieses paradoxe Gesetz nicht anerkennen würden, wenn hierfür nicht die besten Gründe und die sichersten Beweise erbracht werden konnten, weshalb ich Nichts unterlassen zu dürfen glaubte, was die Wirklichkeit dieses wunderbaren, und für die Lehre von der Innervation so wichtigen Verhaltens ausser allen Zweifel zu setzen geeignet schien.

Die erste Beobachtung der Thatsache machte ich in Gegenwart von du Bois-Reymond und Heidenhain, denen ich einige Reizversuche zeigte, während ich mit einer trockenen Zinn-Eisenkette den Nerven erregte. Hier sahen wir denn zu unserem nicht geringen Erstaunen, dass alle Mühe vergeblich war, mit dieser Kette von den unteren Theilen des Ischiadicus aus Zuckung zu erregen, während bei Anlegung der Electroden von gleicher Spannweite an dem mittleren Theil des Ischiadicus schwache Zuckungen erschienen. Vom plexus sacralis aus löste derselbe Reiz aber sehr heftige Contractionen aus. Sehr oft wurde nun die Lage der gereizten Punkte gewechselt — das allgemeine Verhalten blieb immer dasselbe. Frösche, unter den verschiedensten Verhältnissen, zeigten es ebenso, und es konnte kaum einem Zweifel unterliegen, dass wir auf eine äusserst wichtige Thatsache gestossen waren. Ich wiederholte nun den Versuch öfter, wählte noch andere Electromotoren, und sah dasselbe immer wieder in der ausgesprochensten Weise bestätigt. Man muss natürlich nicht solche Electromotoren wählen, welche sehr weit in der Volta'schen Spannungsreihe auseinander stehen, also z. B. nicht Zink-Platin, weil dieses leicht bereits von tieferen Stellen des Nervus ischiadicus aus das Maximum der Zuckung hervorbringt, weshalb also Erregbarkeitsunterschiede nicht mehr aufgefasst werden könnten. Man konnte nun an dieser ersten

Wahrnehmung mancherlei aussetzen, das indessen nicht den Grund des von uns beobachteten Verhaltens enthält. Zunächst könnte man denken, dass wir irgendwie durch die Polarisation der metallischen Electroden, welche dem Nerven unmittelbar bald an der einen, bald an der andern Stelle angelegt wurden, getäuscht worden seien, indem die Polarisation bald mehr, bald weniger entwickelt gewesen und deshalb bald mehr, bald weniger die Stromstärke verändert habe. Dies wird dadurch widerlegt, dass nicht einzusehen wäre, wie diese Zufälligkeiten sich immer so gestaltet haben könnten, dass bei Anlegung an höhere Stellen des Nerven die Polarisation schwächer, bei solche an tieferen stärker geworden wäre. Diese Zufälligkeiten müssten ja von jenen bestimmten Stellen unabhängig sein! Weil aber jene Erscheinung von diesen bestimmt abhängt, so kann also die Polarisation nicht die Ursache des beobachteten Verhaltens darbieten. Dieselbe Betrachtung widerlegt den Einwand, dass die Electroden nicht immer gleiche Spannweite gehabt, und bei gleicher Spannweite nicht immer mit gleich grosser Oberfläche den Nerven berührt hätten. Diese Wiederlegung greift um so mehr hier Platz, als eben jene Unterschiede so unfehlbar sicher auftreten, so ausserordentlich gross und auffallend sind.

Ein anderer Einwand von mehr Gewicht bezieht sich auf den Querschnitt des Nerven, der vielleicht bei den Versuchen nicht immer derselbe war. Denn wir haben ja die Electroden bei nahezu gleicher Spannweite einmal an den unteren dünneren Theil und einmal an den dickeren oberen Theil des Nervus ischiadicus, an den sogenannten plexus sacralis angelegt, welcher jenen an Querschnitt so bedeutend überragt. Aber auch dieser Einwand ist leicht zu entkräften; denn einmal vermochten wir die Zunahme der Stärke der Zuckung, wenn man sich mit den Electroden vom Muskel entfernt, auch an demjenigen Theile des Ischiadicus nachzuweisen, welcher unterhalb des Abganges der Oberschenkeläste gelegen ist. Hier wurden also nur Stellen gleichen Querschnittes mit einander verglichen. Aber selbst die Vergleichung der tiefen

dünneren Stellen mit den dickeren des Ischiadicus konnte unser Resultat nicht falsch gemacht haben, und zwar aus folgendem Grunde. Der einzige im Kreise vorhandene Widerstand ist der Nerv, da sich ausser ihm kein feuchter Leiter im Kreise befindet. Sei nun der specifische Widerstand des Nerven $= W$, seine Länge $= L$, sein Querschnitt $= Q$, so ist der wirkliche Widerstand des Nervenstückes $= \frac{WL}{Q}$ und die Stärke des ihn durchfliessenden Stromes, also:

$$S = \frac{EQ}{WL},$$

Die Stromdichte Δ also:

$$\Delta = \frac{E}{WL}$$

Der Plexus des Ischiadicus vom Querschnitte nQ, wo $n < 1$, würde die Stromstärke geben:

$$S = \frac{EnQ}{WL},$$

so dass ihm die Dichte Δ_1 zukäme, oder

$$\Delta_1 = \frac{E}{WL},$$

mit anderen Worten, es muss

$$\Delta = \Delta_1$$

stets bleiben und es würde also der plexus sacralis von derselben Stromesdichte gereizt worden sein, wie die tieferen Theile des Nervus ischiadicus.

Aber es bleibt noch ein anderer Einwand. Man könnte nämlich vermuthen wollen, dass das Verhältniss des Neurilems zu den Nervenfasern im Querschnitte nicht oben und unten dasselbe sei und deshalb vielleicht der verschiedene Erfolg erklärt werden könne, um so mehr, als das durchtränkte Bindegewebe beträchtlich besser leitet, als die Nervenfasern, so dass also in dem einen Falle, wo die Reizung geringer war, der Strom sich hauptsächlich durch das Bindegewebe des Querschnittes begeben habe. Aber auch dies ist nicht schwer zu widerlegen. Denken wir unsere obige Formel beziehe sich nur auf die Nervenfasern, es sei also gar kein Binde-

gewebe vorhanden und untersuchen wir, was die Folge sein würde, wenn wir nun den Querschnitt überall gleichmässig durch Bindegewebesubstanz zunehmen liessen. Sei ihr specifischer Widerstand = w, der variable Querschnitt = k, so wird ihr wirklicher Widerstand in unserem Falle sein:

$$W' = \frac{wL}{k},$$

die Stromstärke also im Nerven, wenn ω = dem Widerstande der Metallleitung,

$$S = \frac{E.\frac{wL}{k}}{\omega\left(\frac{wL}{k}+\frac{WL}{Q}\right)+\frac{wWL^2}{Qk}} = \frac{E.\frac{wL}{k}}{\frac{WL}{Q}.\frac{wL}{k}} = \frac{EQ}{WL}$$

so dass die in dem Nerven jetzt vorhandene Dichte Δ_2 sich ergeben würde:

$$\Delta_2 = \frac{E}{WL} = \Delta$$

Wie also auch die Bindegewebsänderung in Bezug auf topische Anordnung und Leitungsfähigkeit im Nervenstamme sein möge, so kann diese doch die Stromesdichte in den Nervenfasern nicht abändern.

Dies Alles ist vollkommen streng, so lange sich nicht die specifische Leitungsfähigkeit der Nervenfaser selbst mit ihrem Abstande von dem Muskel ändert, denn in diesem Fall muss natürlich, wie man unmittelbar aus der Formel ersieht Δ mit wachsendem W abnehmen, mit abnehmendem W aber zunehmen, wie auch w sein möge. Jedenfalls sind wir also in unserer Betrachtung bereits so weit gedrängt worden, den beobachteten Unterschied in nichts anderem zu suchen, als in einem verschiedenen Verhalten der Nervenfasern selbst an den verschiedenen Theilen des Stammes. Unwahrscheinlich im höchsten Grade ist es freilich, dass dieser Widerstand mit dem Abstande von dem Muskel fortwährend abnehmen sollte, was nothwendig eine nicht unbeträchtliche Aenderung der materiellen Beschaffenheit der Faser andeuten würde. Ich habe indessen mit Hülfe des Multiplicators zwei gleich lange, gleich dicke Nervenstücke mit einander verglichen und mich

überzeugt, dass kein Unterschied in ihrem Widerstande mit Rücksicht auf Ursprung und Ausbreitung vorhanden ist, wie ich nachher auseinander setzen werde. So scheinbar unvollkommen unsere erste Beobachtung mithin war, so zeigt sie uns dennoch jetzt nach der durchgegangenen Discussion, dass sie bereits ausreicht, das von mir aufgestellte Gesetz zu erweisen.

Gleichwohl mochte ich nicht unterlassen, dasselbe noch durch einen Beweis in strengerer Form festzustellen, welcher zugleich eine Vorstellung zu geben geeignet war von der quantitativen Verschiedenheit der Erregbarkeit in verschiedener Entfernung von dem Muskel. Der Gedanke, von welchem ich hierbei ausging, war folgender. Ich wollte unmittelbar messen, wie stark ein Strom sein müsse, um von einer gegebenen Stelle aus den Muskel zu einer gegebenen Stärke der Zuckung zu bringen. Nachdem dieser Versuch für eine bestimmte Zahl von Stellen gemacht war, sollten dann die Stromstärken unter einander verglichen werden. Die Zuckungsstärke, welche ich wählte, war das Zuckungsminimum, d. h. eine Zuckung unter 0,2 Mm., der also auf der Schreibtafel des Myographions ein Strich unter 0,4 Mm. entsprach. Die Messung der Stromstärke nun wollte ich mit Hülfe des Rheochords vornehmen, nachdem ich solche Bedingungen für das Verhältniss der Stromwiderstände hergestellt hatte, welche bewirken, dass die vom Rheochord abgeleiteten, durch die thierischen Theile fliessenden Ströme den nebenschliessenden Rheochordlängen streng proportional sind. Weil nun in der Strombahn, welche die thierischen Theile enthielt, die zwei langen Eiweiss- und zwei langen Kupfervitriolröhren ausser dem Nerven befindlich waren, so durfte dieser Widerstand als unendlich gegen das kurze Drahtstückchen angesehen werden, das zur Hervorbringung einer Minimumzuckung von dem unempfindlichsten Nerventheil aus als Nebenschliessung eingeschaltet sein muss. Der Widerstand des Hauptstromes aber, d. h. derjenigen Leitung, welche die Säule enthält, kann nicht als unendlich gegen den Draht angesehen werden, weil einige Grove'sche Elemente einen nur geringen Widerstand

Digitized by Google

bieten, zumal wenn sie wie hier mit der stärksten rauchenden Salpetersäure und verdünnter Schwefelsäure von 20 pCt. gefüllt sind, und ausserdem, wie natürlich, die Zinkcylinder auf das Vollkommenste amalgamirt worden waren. Aus diesen Gründen musste in den Hauptkreis noch ein Widerstand eingeschaltet werden, zu welchem Ende an einer Stelle eine Unterbrechung angebracht war, wo die Kupferdrähte in je zwei mit concentrirter, chemisch reiner Kupfervitriollösung gefüllter Porzellangefässe tauchten, welche durch eine zweimal rechtwinkelig gebogene, ebenfalls mit Kupfervitriollösung gefüllte Glasröhre mit einander in leitende Verbindung gesetzt werden konnten. Die Länge der Röhre betrug 16 Cm., und ihr Querschnitt ,0,5 Cm. Wir haben nun hierdurch in dem Ausdrucke, welcher die Grösse des Stromes, der durch den Nerven fliesst, angiebt, den Divisor unabhängig gemacht von der Länge der eingeschalteten Rheochordleitung, deren Widerstand nur noch als Factor den Dividenden behaftet. Nunmehr ist also der den Nerven durchfliessende Strom dieser Länge proportional, so dass wir nur diese zu messen brauchen, um die Verhältnisszahlen der angewandten Stromstärken zu kennen. Mehr zu wissen interessirt uns hier nicht. Die specielle Anstellung des Versuches war nun folgende. Nachdem die Säule von 5—7 Grove'schen Elementen zusammengesetzt ist — so viele Elemente sind wegen des grossen, von uns eingeführten Widerstandes der mit Kupfervitriollösung gefüllten Röhre nothwendig — wird der Museums-Multiplicator mit halber Länge in den Kreis des Zweigstromes eingeschaltet, welcher auch den thierischen Theil aufnehmen soll, damit er stets als Zeuge der Stromstärke befragt werden könne. Auf dem Messingtischchen steht ein kleiner allgemeiner Träger. Seine Glasplatte trägt einen kleinen, festgekitteten Korksteg, auf welchem der centrale Stumpf des Nerven mit Insectennadeln festgesteckt werden soll. Der Steg wird in einer solchen Entfernung vom Gastroknemius am anderen Ende des Längsschlitzes des Tischchens aufgestellt, sodass der Nerv ganz horizontal über dem Schlitze und mit ihm parallel sanft ausgespannt ist. Ausserdem trägt der kleine allgemeine Träger

eine Millimeterscala, welche ebenfalls horizontal liegt, dicht hinter dem Nerven und mit ihm parallel vom plexus sacralis bis zur Kniebeuge verläuft, und mit ihrer Theilung dem Auge des Beobachters zugekehrt ist. Die Höhe der Electroden — unserer Eiweissröhren — ragt nun bis an den Nerven heran, sodass er auf ihnen ruht und die capillare Eiweisskuppe an sich etwas heranzieht. Der Abstand der äussersten Wände der Röhrenspitzen, welche den Nerven tragen, beträgt 4 Mm., der Abstand der innersten sich zugekehrten 1½ Mm. Beide Röhren sind nun mit den Klemmschrauben des die Eiweissröhren tragenden Stativs ein für allemal sehr fest gestellt, so dass der Electrodenabstand unveränderlich ist. Das Myographion steht fest; aber das schwere Stativ lässt sich sanft in irgend einer Richtung auf dem Tische verschieben, wobei die Electrodenspitzen der Eiweissröhren in einer und derselben Höhe bleiben. Da diese Electrodenspitzen etwas über die Scala emporragen, so lässt sich an ihnen der Abstand derselben vom Muskel und die Grösse einer stattgefundenen Verrückung unmittelbar ablesen. Bei der Wanderung der Electroden schieben wir dann langsam vor der Scala die Spitzen unter dem Nerven hin, welcher dabei sicher auf ihnen liegen bleibt, indem er selbst unverändert in seiner absoluten Lage verharrt. Hat man nun so den Versuch hergerichtet, und prüft dann verschiedene Stellen des ganz frisch präparirten Nerven auf ihre Erregbarkeit, so sieht man, dass die einzuschaltende Länge des Rheochords um so bedeutender sein muss, je näher die gereizte Stelle dem Muskel liegt, um noch eine Minimumzuckung hervorzubringen, oder dass die Stromstärke, welche von verschiedenen Stellen aus gleich grosse Zuckung hervorbringen sollen, bedeutender sein müssen, je näher man nach dem Muskel herabkommt. Dass dies wirklich so ist, dafür bürgt der Multiplicator, dessen Ausschläge bei der jedesmaligen Schliessung überwacht werden. Denn während man nach Unten am Nervus ischiadicus mit den Electroden vorrückt, nimmt mit der eingeschalteten Drahtlänge des Rheochords der Ausschlag der Nadel mächtig zu, nicht aber die Zuckung, welche sich ja gleich bleibt. Das

Digitized by

Gesetz ist dasselbe, in welcher zeitlichen Reihenfolge man auch die Bestimmung der Erregbarkeit an verschiedenen Stellen vornimmt und welches auch die Richtung des Stromes sei, der die Reizung bewirkt. Es versteht sich von selbst, dass die Schliessung des Stromes stets mit Hülfe des electromagnetischen Fallapparates in Quecksilber ausgeführt werden muss. Als beweisende Beispiele mögen nun einige Versuche folgen:

Versuch I.

Die Zahl der Elemente der Säule betrug 7. Der Strom war im Nerven aufsteigend. Die dem Gastroknemius zugekehrte Electrode lag anfangs dicht an dem Kniebeugetheil des Nervus ischiadicus und wurde von hier aus immer um je 5 Mm. weiter geschoben. Die angegebenen Zahlen der Drahtlängen des Rheochords sind in Wirklichkeit doppelt so gross; ich bediente mich nämlich des grossen Neusilberrheochords, dessen Draht 0,3 Mm. Dicke hatte. Die Zahlen, deren Einseiten Cm. sind, lauten:

1,1. 1,1. 1,7. 2,1. 4,3. 13,3. 20,1. 27,0.

Ich prüfte nun am Ende des Versuches, nachdem der Werth 1,1 bestimmt war, nochmals die Stelle, welche 5 Mm. vom Gastroknemius entfernt war und erhielt bei 38,0 Cm. noch keine Zuckung, wohl aber bei 42,0 Cm.

Versuch II.

Die Zahl der Elemente beträgt 5. Die Bestimmung der verschiedenen Punkte in der Zeit geschieht in der Richtung von den centralen zu den peripherischen Stellen des Nervus ischiadicus. Der reizende Strom ist ebenfalls aufsteigend. Die Zahlen lauten:

2,9. 2,9. 3,9. 3,4. 7,3. 17,0. 18,0. 15,8.

Versuch III.

Die Bedingungen sind dieselben wie bei Versuch I. Die Zahlen lauten:

12,2. 12,7. 14,2. 3,8. 10,1. 24,1. 35,0. 54,0. 69,2.

Digitized by

Versuch IV.

Die Bedingungen bleiben wie bisher; nur ist jetzt der Strom absteigend, und die Bestimmung geschieht von Unten nach Oben.

9,0. 11,0. 23,0. 5,5. 32,0. 85,2. 105,0. 105,0.

Ich prüfte darauf abermals ganz unten am Ischiadicus und erhielt den Werth 27,0; denn die Erregbarkeit hat sich mittlerweile durch die Einwirkung des Stromes gehoben und deshalb fällt jetzt der Stromwerth niedriger aus. Um diese Modification weniger bemerkbar zu machen und uns eine genauere Vorstellung von der wirklichen Steilheit der Curve bilden zu können, unternahm ich dann Versuchsreihen, in denen ich nur 3 oder 4 Punkte auf ihre Erregbarkeit prüfte; die Punkte aber liegen in gleichen und möglichst grossen Entfernungen von einander. Es versteht sich von selbst, dass man bei der Bestimmung möglichst flink sein muss und den Strom nicht länger als nöthig durch den Nerven kreisen lässt.

Versuch V.

Der Strom ist absteigend. Die Zahl der Elemente der Säule war 5. Die Bestimmung der Punkte geschieht von Oben nach Unten. Die Zahlen lauten:

3,6 — 5,8 — 98,6 — 101,5.

Versuch VI.

Der Strom ist aufsteigend. Zahl der Elemente = 5. Erst wurde der mittlere, dann der obere und dann der untere Punkt bestimmt. Die Zahlen sind:

1,9 — 5,7 — 20,5.

Es kann sonach keinem Zweifel unterliegen — ein Blick auf die Zahlen genügt — dass die Reizung ausserordentlich rasch an Wirkung zunimmt, je entfernter vom Muskel die gereizte Stelle ist. Ich habe bereits erwähnt, dass ich stets am Multiplicator die Ausschläge überwachte, um mich zu überzeugen, dass die Stromstärken zu- oder abnehmen. Das würde

Digitized by Google

also bereits genügen, um unwiderleglich darzuthun, dass jene oben angesprochene Möglichkeit der Variation des Leitungswiderstandes des Nerven mit seiner Länge unmöglich die beobachtete Thatsache hervorgebracht haben konnte. Gleichwohl wollte ich mich noch direct überzeugen, dass in der That ein solcher Unterschied, der ausserordentlich gross und leicht zu constatiren sein müsste, in Wirklichkeit nicht vorhanden sei. Ganz ungeheuer müssten diese Unterschiede sein, wenn sie auch bei diesen Versuchen die Ursache des beobachteten Erfolgs gewesen sein sollten, da ja hier der Widerstand des kurzen Nervenstückes nur einen geringen Bruchtheil der grossen Widerstände ausmacht, welche zur Vermeidung der galvanischen Polarisation im Kreise eingeführt sind. Ich verglich zwei gleich dicke Strecken des Ischiadicustheiles, welcher unter dem Abgange der Oberschenkeläste gelegen ist, bei einem Electrodenabstand von 1 Cm., mit einander, und bestimmte dann, während ich mich eines schwachen Stromes bediente und beide Hälften des Museums-Multiplicators in den Kreis nahm, die constante Ablenkung. Ich verschob dann sanft die Electroden unter dem Nerven hin, entweder von oben nach den tieferen Theilen des Nerven oder umgekehrt. Nicht selten blieb die Nadel genau auf demselben Grad stehen; in anderen Fällen wich sie um einige Grade zurück, oder ging um einige vorwärts, ohne dass sich hierbei irgend eine Beziehung zu der grösseren oder geringeren peripherischen Lage des eingeschalteten Nerventheils herausstellte. Wir dürfen demnach ganz unzweifelhaft behaupten, dass solche Unterschiede in der Leitungsgüte der Nervenfaser an verschiedenen Stellen ihrer Länge nicht vorhanden sind, welche auch nur im Entferntesten unser Resultat zu erklären geeignet sein könnten.

Mit Bezug auf die an verschiedenen Stellen angewandte verschiedene Stromesdichte haben wir allerdings noch einen Augenblick Rücksicht zu nehmen auf die Zunahme des Querschnittes an den höheren Theilen des Ischiadicus, nämlich am plexus sacralis, den wir stets mitgeprüft haben. Es ist indessen leicht zu sehen, dass bei dem sehr grossen, im

Kreise vorhandenen Leitungswiderstand durch diese Vermehrung des Querschnittes nur eine Verringerung der Stromesdichte erzeugt werden kann. Unsere Curven sind also in Wirklichkeit noch steiler, als sie der Versuch angiebt, womit denn unser Gesetz a fortiori bewiesen ist. Somit dürften denn alle Bedenken, welche aus der Anwendung der electrischen Reizung entspringen, beseitigt sein, und es bleibt uns nur noch eines Einwandes zu gedenken, welchen zu betrachten nicht überflüssig ist.

Wie ich nämlich in der Folge zeigen werde, bringt bereits der Nervenstrom beträchtliche, d. h. nicht schwer mit passenden Mitteln zu constatirende Veränderungen der Erregbarkeit hervor. An dem oberen Theile des herauspräparirten Nervus ischiadicus nun liegen demselben vom Abgange der Oberschenkeläste bis zum Querschnitt eine gewisse Zahl von Nerven an, welche von zwei Querschnitten begrenzt sind. Abgesehen nun von einem schwachen Differentialstrom dieser Nerven, welcher unsere Fasern, an denen wir experimentiren, durchkreist, bilden diese von doppeltem Querschnitt begrenzten Fasern eine Nebenschliessung für den Strom des Ischiadicus, sodass unser Nerv zu betrachten ist, als sei er von einem schwachen absteigenden Strome durchflossen. Unterhalb des Abganges der Oberschenkeläste wird sich nun ein Zustand erhöhter Erregbarkeit aus der unmittelbar durchflossenen Strecke des plexus sacralis nach abwärts fortpflanzen, und zwar mit abnehmender Stärke. Es ist nun recht sonderbar, dass diese Vorstellung die ganze Erscheinung der scheinbaren Zunahme der Erregbarkeit mit der Entfernung der gereizten Stelle vom Muskel erklärt. Denn: der plexus ischiadicus ist vom Nervenstrome absteigend durchflossen, also von einem schwachen Strome. Dieser erhöht aber die Erregbarkeit der Nerven fast in der ganzen durchflossenen Strecke, bis auf ein kleines Stückchen an der Stelle, wo er eintritt. Hier ist nun sein Querschnitt, der bald abzusterben pflegt. Also die Prüfung des plexus ischiadicus zeigt den Nerven sehr reizbar, weil der constante schwache Strom ihn durchfliesst. Unterhalb eines absteigenden Stromes pflanzt sich aber stets ein

Zustand vermehrter Erregbarkeit nach dem Muskel mit stets abnehmender Stärke fort. Das ist ganz, was wir beobachtet haben. Man sieht also, wie nothwendig es war, dass wir auf diesen Punkt eingingen, dessen Widerlegung eben nicht so leicht ist, sondern nur durch vergleichende Untersuchungen geführt werden kann. Biegt man den Ischiadicus mit seinem frischen Querschnitte gegen seine Oberfläche (Längsschnitt) zurück, und untersucht nun den zwischen Muskel und negativer Electrode gelegenen Theil des Ischiadicus in seinen untern, wenig reizbaren Partien, welche unmittelbar unter dem anliegenden Querschnitt liegen, so findet man wohl die Erregbarkeit um ein Geringes erhöht, wie wir später zeigen werden. Der Unterschied der Stromstärken aber, der nothwendig ist, um bei anliegendem und nicht anliegendem Querschnitt gleiche Zuckungen hervorzubringen, ist durchschnittlich noch nicht so bedeutend, dass man die Nebenschliessung um mehr als 1 Cm. Neusilberdraht zu verkürzen oder zu verlängern brauchte. Bei Prüfung der vom Muskel verschieden weit ab liegenden Punkte aber sind ja, wie wir so eben sahen, ganz andere Differenzen vorhanden, gegen welche jene durchaus verschwinden. Ich habe den Versuch auch noch so angestellt, dass ich dem untern Theil des Ischiadicus einen andern Nerven mit Längs- und Querschnitt anlegte und so den Nervenstrom mit dem auf seine Erregbarkeit zu prüfenden Ischiadicus schloss. Das Resultat blieb dasselbe. Ich werde diese Versuche im Laufe der Untersuchung weiter unten speciell mittheilen.

So scheint es denn, dass wir ohne ferneres Bedenken das oben aufgestellte Gesetz anerkennen dürfen. Ehe wir dasselbe aber verlassen, möchte ich noch einige Einzelnheiten, die mir bei Verfolgung des speciellen Ganges unserer Curven aufgefallen sind, hier darlegen. Im Grossen und Ganzen nämlich bestätigt sich am frischen Nerven das Gesetz ausnahmslos. Doch ist eine sehr gewöhnliche Erscheinung, dass die nahe dem Querschnitte gelegenen Theile des plexus sacralis eine niedrigere Erregbarkeit zeigen, als diejenigen, welche ein wenig mehr von ihm entfernt sind. Je frischer der Nerv

ist, desto weniger spricht sich dieser Wendepunkt der Curve aus; je länger er bereits gelegen hat, desto bedeutender. Bis auf weiteres können wir demnach nicht wohl zweifeln, dass wir es hier mit nichts Anderem, als der Einmischung des Ritter-Valli'schen Gesetzes des Absterbens der Nerven zu thun haben. Dieser Umstand also wird uns am allgemeinen Gesetze nicht beirren.

Merkwürdig und räthselhaft aber ist ein anderer Umstand, den eine grosse Zahl meiner Curven darbietet. Obwohl nämlich im Allgemeinen die Curven der Erregbarkeit sehr rasch wachsen, indem man von den tieferen Stellen des Nervus ischiadicus zu den höheren Stellen vorschreitet, so beobachtet man doch nicht selten, dass die Curve eine Knickung gegen die Abscisse besitze und zwar fast allgemein nur eine solche Knickung. Merkwürdig ist aber ferner, dass die Stelle, welche dieser Knickung, wenn sie beobachtet wurde, entsprach, am Nervus ischiadicus immer diejenige ungefähr war, von welcher die Oberschenkeläste abgehen. Specielleres kann ich über diesen sonderbaren Punkt nichts angeben, da meine Apparate zu dessen Erforschung nicht besonders geeignet waren, indem der Electrodenabstand bei mir hierfür zu bedeutend ist.

Endlich aber habe ich auch darauf Verzicht geleistet, zu bestimmen, wie sich mit dem Absterben die Gestalt der Curve ändere. Soviel lässt sich indessen schon jetzt behaupten, dass sie nicht parallel zu sich gleichsam unter die Abscisse sinkt, sondern ihre Ordinaten nehmen mit der Zeit um so mehr an Grösse ab, je näher sie dem blossliegenden Querschnitte sind, in dessen unmittelbarer Nachbarschaft die Ordinate sehr rasch sich der Null nähert. Die Curve wird also mit der Zeit nothwendig flacher, was noch dadurch begünstigt wird, wenn, wie es mir zuweilen schien, die Erregbarkeit mit der Zeit anfangs an den tieferen Stellen, ehe sie abnimmt, um etwas steigt.

Ich versuchte nun, ehe ich die Experimente über diesen Gegenstand, den ich noch nicht als abgeschlossen betrachte, aufgab, auch mit Hülfe chemischer Reizung den Lauf der

Curve abermals zu constatiren. Nach längerem Bemühen, dessen Erzählung ich dem Leser ersparen will, wählte ich folgende Methode. Auf meinem kleinen allgemeinen Träger befestigte ich eine kleine dreieckige Glasplatte und brachte dann auf die horizontale Fläche der freien Spitze der Platte einen kleinen Tropfen concentrirter Kochsalzlösung. Nachdem der Ischiadicus horizontal ausgespannt war, schob ich die Spitze der Glasplatte, welche in gleicher Höhe mit dem Ischiadicus eingestellt war, langsam und sanft unter den Nerven selbst, der nun in einer Strecke von 4 Mm. von der ätzenden Flüssigkeit benetzt wurde. Wegen der conischen Gestalt des Tropfens kann man die Ausdehnung der ätzenden Substanz sehr beschränken. Man warte nun 5—10 Minuten, während eine sehr tief gelegene, unmittelbar über dem Musculus gastroknemius befindliche Strecke mit der Kochsalzlösung benetzt ist. Es ist natürlich nothwendig, sehr darauf zu achten, dass nirgends anders etwas Lösung an das Präparat komme. Nach Verlauf von jener Zeit wird in bei Weitem der grössten Zahl der Fälle der Muskel noch so ruhig sein, wie im Anfange, oder mit anderen Worten: die Kochsalzlösung ist wirkungslos. Wählt man nun eine höhere Strecke des Ischiadicus über dem Abgange der Oberschenkeläste und nimmt mit ihr dasselbe vor, so erfolgt fast immer nach einigen Minuten Tetanus. Dass dieser Tetanus nicht durch Weiterkriechen des Salzes nach dem Querschnitt entstanden ist, davon kann man sich so überzeugen, dass bei gleichem Abstande einer tieferen mit Kochsalz geätzten Stelle von einem über derselben angelegten Querschnitt kein Tetanus entsteht.

Somit kann denn unmöglich die allgemeine Gültigkeit des obigen Gesetzes zweifelhaft sein und es bleibt uns nur noch übrig, dasselbe von theoretischer Seite her zu discutiren. Thatsache ist, dass ein gegebener Reiz stärkere Zuckungen hervorbringt, wenn er eine vom Muskel entferntere Stelle trifft. Woran nun kann das liegen? — Entweder, wie es der Anschein ist, ändert der Nerv sein inneres Verhalten mit der

Annäherung an das Centralorgan und nimmt wirklich an Erregbarkeit zu, so dass derselbe Reiz an verschiedenen Stellen Kräfte von verschiedener Grösse auslöst und deshalb verschieden grosse Wirkungen hervorbringt; oder es verhalten sich alle Querschnitte gleich, sind also in ihrer Erregbarkeit gar nicht verschieden und jener verschiedene Erfolg hat nur darin seinen Grund, dass die Reizung gleichsam lawinenartig anschwillt, über je längere Strecken sie sich fortpflanzt. Es würde also ein erregter Querschnitt in dem nächstfolgenden nach einem bestimmten Naturgesetz mehr Kräfte auslösen, als in ihm selber thätig sind, eine Annahme, die wir ja sonst bei Reizen täglich machen. Die dritte Möglichkeit endlich besteht darin, dass Beides stattfindet, nämlich dass die Erregbarkeit des Nerven zunimmt mit der Annäherung an das Centralorgan und dass ausserdem noch die einmal ausgelöste Reizung lawinenartig anschwillt bei ihrer Fortpflanzung über grössere Nervenstrecken. Es ist, wie es scheint, hier daran zu erinnern, dass bei den Empfindungsnerven ebenfalls die Reizung um so heftiger zu wirken scheint, in je grösserer Entfernung von dem Endapparate die Erregung angebracht wird, da ja Reizung der Haut viel leichter Reflexbewegungen bedingt, als solche der Stämme. Doch könnte man hier an eigenthümliche Einrichtungen denken, welche mit den peripherischen Endigungen der Empfindungsnerven in Verbindung wären und die Ursache jener Thatsache enthielten. Welche nun von jenen drei Möglichkeiten der Wirklichkeit entspricht, lässt sich bis jetzt wegen mangelnder Thatsachen nicht mit ausreichender Gewissheit entscheiden. Eine von mir über diesen Punkt begonnene Untersuchung macht es mir bis jetzt wahrscheinlich, dass die zweite Möglichkeit diejenige ist, welche mit der Wirklichkeit übereinstimmt. Leider ist aber meine Untersuchung noch nicht so weit abgeschlossen, dass ich sie bereits hier einflechten könnte.

Es bleibt uns endlich noch übrig, einen historischen Rückblick zu werfen, auf diejenigen Bestrebungen, welche demselben so eben von uns abgehandelten Gegenstande zuge-

wandt waren. Auch hier bietet die ältere Literatur des Galvanismus keinerlei Thatsache, welche auf eine unserem Gegenstande angehörige Beobachtung hinwiese, sondern man war allgemein so ziemlich bis zur neuesten Zeit eigentlich mehr der Ansicht, dass Reizungen um so schwächer ausfallen, je weiter die gereizte Stelle vom Muskel entfernt liege, um so mehr, als das Valli-Ritter'sche Gesetz des Absterbens der Nerven vom centralen nach dem peripherischen Ende hierfür eine Stütze bieten musste und du Bois-Reymond in seinen Untersuchungen als allgemeines Gesetz angiebt, dass die Grösse der negativen Schwankung des ruhenden Nervenstromes um so bedeutender ausfalle, je näher die gereizte der abgeleiteten Stelle sei. (S. E. du Bois-Reymond, Untersuchungen Bd. II. p. 463 u. flgd.)

Der Erste, welcher das Verdienst hat, auf das wirkliche Verhalten aufmerksam gemacht zu haben, ist Budge. (S. Budge, Ueber das Verhältniss der Wirkung der Nerven zu ihrer Entfernung vom Ursprung in Froriep's Tagesberichten 1852 No. 445. p. 329 und Ueber die verschiedene Reizbarkeit eines und desselben Nerven an verschiedenen Stellen desselben, a. a. O. No. 509. p. 348.)

In meiner vorläufigen Mittheilung über die in diesem Buche enthaltenen Untersuchungen an die Königl. Academie der Wissenschaften vom März 1858 hatte ich nun Budge's nicht erwähnt, wie ich denn in derselben keinerlei Literaturangabe und keinerlei genauere Beschreibung der Methoden machte, weil dazu der Raum durchaus fehlte. Gleichwohl hat Budge bei der Königlichen Academie eine nun publicirte Reclamation gegen mich erlassen (s. Budge, Schreiben in Betreff einer Pflüger'schen Mitteilung im Monatsbericht der Königl. Preuss. Academie der Wissenschaften, Juli 1854), in welcher er mir jenes Gesetz streitig macht.

Meine Behauptung, jenes Gesetz „bestimmt“ und festgestellt zu haben, kann indessen trotzdem nicht einen Augenblick zweifelhaft sein. Budge nämlich hat dasselbe durchaus nicht erwiesen, wie sich aus folgender Darstellung ergeben

Digitized by

wird. Seine Methode, dasselbe nachzuweisen, bestand darin, dass er beim Tetanisiren einer gegebenen Nervenstrecke die secundäre Rolle um so näher an die primäre heranschieben musste, um noch Wirkungen am Schenkel zu erhalten, je näher die betrachtete Nervenstrecke dem Muskel war. Was bürgte nun bei diesen Versuchen dafür, dass in der That die Ströme stärker waren, wenn die secundäre Rolle etwas näher der primären stand? Waren doch in die secundäre Rolle andere Nervenstrecken eingeschaltet worden, von denen er nicht wissen konnte, ob ihr Widerstand mehr oder weniger sich unterscheide von dem der früher eingeschaltet gewesenen. Budge giebt diesen Mangel selbst ausdrücklich zu, wünscht sich aber freilich zur Messung der in der secundären Spirale sich abgleichenden Wechselströme ein Galvanometer, um dem Leser auf's Neue den Beweis zu führen, wie vorsichtig wir Beobachtungen von Budge aufzunehmen haben, zu deren Ausführung auch nur ein Minimum physikalischer Kenntnisse nothwendig ist.

Ich glaube zur Begründung dieses allerdings harten Urtheils genügende Gründe anführen zu müssen. Man schlage eine Seite seines Lehrbuchs der Physiologie auf und lese: „dass bei grossen Fröschen, deren Schenkelnerven 50—60 Millimeter messen, und welche bei 2—6° C. aufbewahrt waren, währed die Temperatur des Beobachtungszimmers zwischen 11 und 15 lag, ein electrischer Strom (!!!) auf das Hüftgeflecht eines Frosches ausgeübt, 0,0014 bis 0,0020 Secunden braucht, bis er sich zum Eintritt in den Wadenmuskel fortpflanzt“ (s. Budge, Specielle Physiologie des Menschen, 1857 S. 344), ferner auf derselben Seite (a. a. O.), „dass Menschen mit kurz- oder schwachsichtigen Augen erst mehrere Secunden nachher das Object sehen, wenn es schon vorüber ist,“ oder in der Optik: „Einfallsloth ist die Senkrechte, welche auf den einfallenden Strahl an der Stelle seines Eintritts in ein anderes Medium gezogen wird. In Kugelabschnitten bildet der Radius das Einfallsloth.“

Ich denke, das genügt.

Digitized by Google

Es wäre nicht zu glauben, wenn es nicht so deutlich schwarz auf weiss zu lesen wäre. — Dass Budge den Verlauf der Curve nicht bestimmt hat, ist somit klar erwiesen, da er sich jeder experimentellen und theoretischen Begründung entschlagen hat; was auf seine Bestimmung zu geben gewesen wäre, ist nach den vorigen, leicht zu mehrenden Beispielen nicht zweifelhaft.

Abschnitt II.

Untersuchung der Veränderung der Erregbarkeit vor dem aufsteigenden Strome.

Die Untersuchung derjenigen Nervenstrecken, welche sich vor dem aufsteigenden Strome befinden, d. h. also zwischen negativer Electrode und centralem Ende des Nerven, zeigt die Erregbarkeit im Allgemeinen abweichend von derjenigen, welche demselben im natürlichen Zustande zukommt. Die Gesetze aber, nach welchen sich jene Aenderungen richten, sind etwas complicirter Art, weshalb dieser Theil der Untersuchung, welcher den Gegenstand des zweiten Hauptabschnittes bildet, als der schwierigste der ganzen Untersuchuug angesehen werden muss. Denn wenn man auf die Stromstärken keine Rücksicht nimmt, welche zur Erregung des electrotonischen Zustandes angewandt werden, so ist es unmöglich, über den Gegenstand ins Reine zu kommen, weil dann die Erregbarkeit bald erhöht, bald herabgesetzt, bald gar nicht verändert zu sein scheint, obwohl man das letztere selten beobachten wird. So kann also sogar der Schein entstehen, als ob hier alles schwankend und unsicher, nichts gewiss sei. Dem ist jedoch nicht so, sondern die Beachtung der Stromstärke deckt sofort das geheime Gesetz auf, dem sich die scheinbaren Unregelmässigkeiten zur unwandelbaren Bestimmtheit unterordnen. Gleichwohl aber bin ich der Ansicht, dass nur die eine Erscheinungsweise der veränderten Erregbarkeit, nämlich die Erhöhung derselben, welche bei schwächeren polarisirenden Strömen beobachtet wird, allein dem wirklichen Zustande der gereizten Nervenstrecke entspricht, während die scheinbare Abnahme der Erregbarkeit vor dem aufsteigenden Strome bei

hoher Stromstärke nicht in einer Veränderung der Erregbarkeit der unmittelbar gereizten Stelle ihren Grund hat, sondern in der Unfähigkeit der durchflossenen Strecke die Reizung fortzupflanzen. Wir werden deshalb hier zunächst nur für schwache Ströme die Erhöhung der Erregbarkeit nachweisen und später erst, wo wir die Veränderung der Erregbarkeit als Funktion der Stärke des polarisirenden Stromes behandeln, auch die scheinbare Abnahme und das genauere Gesetz derselben constatiren.

Kapitel I.

Nachweisung der erhöhten Erregbarkeit.

1. Nachweisung der erhöhten Erregbarkeit vor dem aufsteigenden constanten Strome mit Hülfe des Reizes eines absteigenden Kettenstromes.

Die Einrichtung des Versuches ist folgende. Ein Eiweisselectrodenpaar von 4 Mm. Spannweite, wenn man von einer äusseren Wand zur andern rechnet, liegt dem Nervus ischiadicus dicht über dem Musculus Gastroknemius an, so jedoch, dass die Zuckung keine Verschiebung des Nerven auf den Electrodenspitzen hervorbringen kann. Dieses Electrodenpaar führt nun den in strengem Sinne constanten Strom dem Nerven zu. Genaueres über die Stärke desselben anzugeben, ist hier nicht am Orte, da das bei Untersuchung des Einflusses der Stromstärke auf die Veränderung der Erregbarkeit vor dem aufsteigenden Strome sehr genau behandelt werden soll. Für Vorlesungen bemerke man sich, dass diejenigen Stromstärken, welche die ersten Stufen des Zuckungsgesetzes geben, also stärkere Schliessungs- als Oeffnungszuckung, oder besser nur Schliessungszuckung, die geeignetsten zur Demonstration der erhöhten Erregbarkeit sind. Sehr leicht hat man mit dem kleinen Eisenrheochord, welcher mit einem Grove-

schen Elemente verbunden wird, die richtige Stromstärke gefunden. Wohl zu merken ist aber bei dem Suchen der richtigen Stromstärke, dass man nicht etwa mit sehr starken anfange und nun immermehr abschwäche. Am Besten beginnt man mit der Stromstärke Null und schiebt so lange die Nebenschliessung weiter, bis die Schliessungszuckung deutlich ist, und kann sicher sein, nunmehr zu sehen, was ich oft genug behauptet habe, nämlich Erhöhung der Erregbarkeit oberhalb der negativen Electrode, nimmermehr, niemals, unter keinen Umständen etwas Anderes.

Ein zweites Electrodenpaar, das reizende, wird nun oberhalb des ersten angelegt. Seine Spannweite ist dieselbe wie die vorige. Der Abstand der einander nächsten Electroden, also die Entfernung von der negativen Electrode des constanten Stromes bis zur negativen des reizenden beträgt 5—10 Mm. Der reizende Kettenstrom soll zunächst eine absteigende Richtung im Nerven haben. Der Grund, weshalb wir ihn absteigend wählen, liegt in Folgendem. So lange der Nerv sich im natürlichen Zustande befindet, entwickelt er selbst an der betrachteten Stelle nur einen Strom von verschwindender Grösse. Sobald er aber in den electrotonischen Zustand geräth, wird er auf allen Punkten, zumal auf denjenigen, welche den Electroden des constanten Stromes nahe liegen, electromotorisch wirksam, was wir ohne Weiteres nicht vernachlässigen dürfen. Sobald wir also während des Electrotonus mit der Kette reizen, werden sich augenblicklich die durch jenen gesetzten Spannungen auszugleichen streben, sich zu dem reizenden Strome also algebraisch summiren. Durch diese Summation könnte aber der so schwache reizende Kettenstrom eine Verstärkung erfahren, weshalb wir aus einer verstärkten Zuckung nunmehr durchaus nicht auf eine Zunahme der Erregbarkeit zu schliessen berechtigt wären. Das muss aber um so mehr hier Geltung haben, als der vom Electrotonus herrührende Strom im Allgemeinen bei einigermaassen für ihn günstigen Bedingungen eine Stärke hat, die von einerlei Ordnung ist mit dem Strom der reizenden Kette, den wir ja deshalb sehr schwach nehmen müssen, weil wir eine Zunahme der Zuckung

im electrotonischen Zustande noch wahrnehmen wollen, so dass der Reiz also im natürlichen Zustande gar nicht das Maximum der Zuckung hervorbringen darf. Aus alle dem folgt aber, dass wir bei diesen Versuchen jetzt den Strom der reizenden Kette so durch den Nerven leiten, dass er durch die electromotorische Wirksamkeit desselben im Electrotonus geschwächt werden muss. Der Strom des Electrotonus wird nun, da der constante Strom aufsteigend ist, in einem angelegten Bogen einen Strom hervorrufen, welcher einen aufsteigenden Strom im Nerven anzeigt. Der reizende Strom wird also absteigend sein müssen. —

Nachdem dies Alles vorbereitet ist, prüfen wir am Multiplicator, den wir bald in den einen, bald in den anderen Kreis einschalten, die Gleichartigkeit der Electroden. Die Nadel bleibt unbewegt, obwohl die ganze Länge eingeschaltet ist.

Der Froschschenkel wird nun rasch präparirt, eingespannt und der Nerv über die Electroden gelegt. Das freie centrale Ende ruht auf der dreieckigen Glasplatte des kleinen allgemeinen Trägers, der im feuchten Raume steht. Der reizende Strom, welcher von einem Eisenrheochord abgeleitet ist, wird nun so schwach genommen, dass eben eine Spur von Zuckung erscheint, welche die Spitze aufschreibt. Nachdem dies geschehen ist, ziehe ich mit Hülfe des an den Wirbel befestigten Fadens die Spitze von der Glasplatte des Myographions ab und unterbreche dann den reizenden Strom. Darauf schliesse man den polarisirenden, lasse rasch den Zeichenstift sich wieder gegen die Platte anlehnen, verschiebe dann die Glasplatte um etwa 1 Mm., wodurch also die Spitze ein kleines Stück der Abscisse zieht und lasse nun rasch den Hammer los. Der Muskel hat einen langen Strich gezogen, welcher vielemal grösser ist als der erste. Man entferne rasch die zeichnende Spitze, unterbreche die Stromkreise und wiederhole nun an demselben Schenkel den eben beschriebenen Versuch so oft man wünscht. Der Erfolg ist immer derselbe. Nur eins ist zu erwähnen. Die dritte Zuckung, also diejenige, welche wieder ohne Beihülfe des constanten Stromes gezogen wird, ist grösser als

die erste und kleiner als die zweite. Es wächst also die Zuckung durch den Einfluss des constanten Stromes fortwährend sehr rasch und erreicht bald das Maximum. Ist dies geschehen, so muss man natürlich sofort die Reizung wieder abschwächen, um die Erhöhung der Erregbarkeit, welche während der Stromesdauer vorhanden ist, deutlich hervortreten zu lassen. Ich habe auf diese Weise mehr denn 100 Mal den Muskel zucken lassen, einmal während der Nerv im natürlichen, und einmal während er im electrotonischen Zustande befindlich war. Stets wechselten dem entsprechend schwache mit starken Zuckungen ab. Die beobachteten Differenzen aber sind im Allgemeinen ganz ausserordentlich gross. Ich gebe als Beispiel zunächst einen solchen Versuch, wo die Schliessung der reizenden Kette mit der Hand ausgeführt war, um dem Leser zu zeigen, dass allerdings auch so ganz gut die Erhöhung der Erregbarkeit demonstrirt werden kann.

Versuch.

Zahl der Zuckung.	Grösse der Zuckung bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Grösse der Zuckung bei polarisirten Nerven.
1	0,9 Mm.	2	5,8 Mm.
3	2,3 -	4	6,2 -
5	2,9 -	6	6,9 -
7	4,8 -	8	6,1 -
9	3,5 -	10	6,1 -
11	2,1 -	12	5,4 -
13	0,9 -	14	5,0 -
15	0,9 -	16	4,5 -
17	0,9 -	18	4,9 -
19	0,9 -	20	4,8 -
21	0,9 -	22	3,0 -
23	0,7 -	24	3,8 -
25	0,5 -	26	3,9 -
27	0,4 -	28	3,3 -
29	0,5 -	30	3,1 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
31	0,5 Mm.	32	3,2 Mm.
33	0,2 -	34	3,2 -
35	1,9 -	36	4,0 -
37	0,5 -	38	3,8 -
39	0,5 -	40	3,4 -
41	0,5 -	42	3,3 -
43	0,5 -	44	3,3 -
45	0,5 -	46	3,3 -
47	0,0 -	48	3,1 -
49	0,0 -	50	2,9 -
51	1,0 -	52	2,8 -
53	1,0 -	54	2,9 -
55	1,0 -	56	3,0 -
57	1,0 -	58	2,3 -
59	0,3 -	60	2,0 -

Als Specialbestimmung für diesen Versuch ist zu bemerken: der Abstand der negativen Electrode des constanten Stromes von der negativen des reizenden betrug 8 Mm. Der Abstand der positiven Electrode des constanten Stromes vom Musculus gastroknemius war = 7 Mm; die Länge des Nervus ischiadicus ohne Spannung = 55 Mm.; die des Musculus gastroknemius von der Kniebeuge bis zum tendo Achillis = 35 Mm. — Die Versuchszeit fiel Ende Mai.

Wir verzichten hier darauf, noch mehr Versuche anzuführen, welche dasselbe beweisen sollen, da wir solche doch in der Folge noch in grosser Menge aus anderen Gründen beibringen werden. Es liegt uns aber hier noch ob, einige Bedenken zu beseitigen, welche gegen die Beweiskraft dieses Versuchs vorgebracht werden könnten. Zunächst und vor Allem haben wir den Nachweis zu führen, dass unser Resultat nicht durch Stromeschleifen bedingt war, welche aus dem einen Kreise in den anderen eingebrochen sind. Diesen Ein-

wand widerlegte ich so, dass ich den Museumsmultiplicator mit ganzer Länge in den Kreis des reizenden Stromes einschaltete, die Kette aber von dem zugehörigen Eisenrheochord entfernte und darauf den Kreis schloss. Sodann liess ich plötzlich den constanten Strom durch den Nerven fliessen, um zu sehen, ob an der Nadel ein Zweigstrom sich in dem Kreise, der früher der reizende war, zeigen würde. Aber die Nadel blieb ganz ruhig. Man könnte nun der Ansicht sein, dass der Museumsmultiplicator vielleicht nicht empfindlich genug gewesen sei. Dem ist aber nicht so, sondern Ströme, welche er bei dieser Anordnung nicht mehr angiebt, pflegen auch keine Zuckung mehr zu bewirken, sowie sie die Erregbarkeit nicht mehr deutlich abzuändern im Stande sind. Dass der Multiplicator auch nicht den Strom des Electrotonus unter diesen Umständen angab, ist sehr begreiflich, weil die in den Kreis eingeschalteten Widerstände zur Vermeidung der Polarisation so ungeheuer gross sind, und der „erregende“ Strom selbst so sehr schwach ist. Denn bei möglichst geringem Widerstande und ausreichender Stromstärke giebt ja dieser Multiplicator den Strom des Electrotonus ganz deutlich an. Auf dieselbe Weise überzeugte ich mich darauf, dass von der reizenden Kette aus kein Partialstrom in den Kreis der constanten eingebrochen war, wobei also der Multiplicator in den letzteren eingeschaltet wurde. Endlich und schliesslich machte ich den Gegenversuch mit Durchschneidung und Wiederzusammenklebung der Nerven zwischen beiden Electrodenpaaren. Wenn der reizende Strom nun wieder geschlossen wurde, entstand keine Zuckung mehr, wobei zu bemerken ist, dass ja der constante Kreis stets geschlossen war, während sich einmal ein Strom durch denselben ergoss und einmal nicht; ebensowenig entstand umgekehrt eine Zuckung, wenn ich den durchströmten Kreis des constanten Stromes durch den Nerven schloss und über die Electrode des reizenden Stromes noch ausser dem aufliegenden durchschnittenen Nerven den frisch präparirten eines stromprüfenden Schenkels legte. Diese Controlversuche wurden stets nach jedem Versuche angestellt, um sicher zu sein, dass sich nirgends irgend eine zu Täu-

schungen veranlassende Nebenschliessung gebildet haben könnte. Hiermit dürfte denn die Möglichkeit widerlegt sein, dass unser Resultat durch Stromesschleifen hervorgebracht worden sei.

Ausserdem ist zugleich ein nicht ungefährlicher Einwand widerlegt, welcher die scheinbare Erhöhung der Erregbarkeit daraus ableiten wollte, dass der Strom des Electrotonus weniger dem Strome der reizenden Kette immer noch grösser gewesen sei als der letztere, sodass demnach während des Electrotonus mit einem stärkeren Strome gereizt worden sei. Unser reizender Strom nämlich afficirt die Nadel deutlich, der Strom des Electrotonus aber gar nicht. Ebenso entstand keine Zuckung, wenn nur der stromlose reizende Kreis geschlossen wurde, während der constante Strom die andere Strecke bereits aufsteigend durchfloss.

Es bleibt uns noch ein anderer Einwand zu betrachten übrig, der zwar unwahrscheinlich an sich ist, aber dennoch widerlegt werden muss. Man könnte nämlich behaupten wollen, es pflanze sich von der vom constanten Strome aufsteigend durchflossenen Strecke kein Zustand veränderter Erregbarkeit fort, sondern nichts weiter, als jene am Multiplicator bemerkbare Veränderung der electromotorischen Kräfte des Nerven. Indem sich aber die durch den Electrotonus erzeugten Spannungen durch das Neurilem ausgleichen, müsste der Nerv so angesehen werden, als sei er von einem schwachen constanten Strome durchflossen, welcher seine Erregbarkeit abändere. Bei Nachweisung der erhöhten Erregbarkeit vor dem aufsteigenden Strome mit Hülfe des Inductionreizes werde ich diesen Einwand widerlegen. Es mag hier genügen, darauf hingewiesen zu haben. Noch sind wir indessen mit unseren Bedenken nicht zu Ende, sondern ein neuer Einwand entspringt aus der verschiedenen Gestalt der Dichtigkeitscurve des Stromes, mit welchem wir in dem einen und anderen Falle die Reizung ausgeführt haben. Ich meine nicht jene Verschiedenheiten, welche durch die Schliessung mit der Hand hervorgebracht sein könnten. Diese hierdurch erzeugten Unregelmässigkeiten stehen ja in gar keinem Zusammenhange damit, ob die constante Kette geschlossen ist oder nicht, was

für die verschiedene Grösse der Zuckungen aber ganz entschieden der Fall ist. Der eigentliche Einwand den ich hier im Auge habe, basirt auf folgender Betrachtung. Wenn der reizende absteigende Strom in den im natürlichen Zustande begriffenen Nerven eintritt, erhebt sich seine Dichtigkeitscurve einfach nahezu von Null bis zu ihrer definitiven Höhe. Stellen wir uns die Ordinate des absteigenden Stromes positiv vor. Wenn wir nun aber den Nerven von dem constanten Strome aufsteigend durchflossen sein lassen, so wird schon vor der Reizung die zu reizende Stelle von einem schwachen aufsteigenden Strome durchflossen sein, weil sich, wie oben schon bemerkt, die durch den Electrotonus bedingten Spannungen durch das Neurilem auszugleichen streben. Sobald nun der stärkere Kettenstrom diese Nervenstrecke absteigend durchfliesst, muss nothwendig, wie leicht ersichtlich ist, eine Stromesumkehr in der polarisirten Faser stattfinden. Könnte nun durch diese beiden verschieden gestalteten Dichtigkeitscurven nicht etwa der beobachtete Erfolg bereits seine Erklärung finden, ohne dass man deshalb zu einer Abänderung der Erregbarkeit zu greifen braucht? Ich habe diesen höchst unangenehmen Einwand nur dadurch zu widerlegen gewusst, dass ich den Beweis stellte, wie auch ohne Stromesumkehr, also bei Reizung mit einem aufsteigenden Kettenstrome, die Erhöhung der Erregbarkeit nachweisbar sei. Natürlich muss dafür gesorgt werden, dass nun aus der Summation des Stromes des Electrotonus und der reizenden Kette keine höhere Stromstärke erzeugt werde, als wenn der Nerv im natürlichen Zustande erregt wird. Zu dieser Beweisführung werden wir sofort übergehen und betrachten demnach bis dahin unser Resultat für gesichert.

2. Nachweisung der erhöhten Erregbarkeit vor dem aufsteigenden Strome mit Hülfe eines reizenden aufsteigenden Kettenstromes.

Die Schwierigkeiten, welche sich diesem Nachweise entgegenstellen, sind sehr beträchtlich und zwar aus folgendem

naheliegenden Grunde. Sobald wir die reizende Kette zu aufsteigender Richtung im Nerven schliessen, muss sich, wenn der Nerv im electrotonischen Zustande ist, augenblicklich ein von diesem Zustande herrührender Strom durch ihn ergiessen, welcher sich zu dem reizenden addirt. Man wird also während des Electrotonus mit einem stärkeren Strome reizen, als wenn der Nerv nicht polarisirt ist. Der Reizung mit dem stärkeren Strome entspricht aber eine stärkere Zuckung. Alles dies legt uns demnach die Forderung auf, bei Reizung des polarisirten Nerven den Kettenstrom so abzuschwächen, dass er + dem Strome der „säulenartigen Polarisation" immer noch kleiner ist, als derjenige Strom, welcher den in natürlichem Zustande begriffenen Nerven gereizt hat. Wir schalten also in den reizenden Stromeskreis den Museumsmultiplicator mit ganzer Länge ein, und lesen jedesmal die Ausschläge der Nadel ab, welche sie beschreibt, wenn sie von der Ruhelage ausgeht. Den reizenden Kettenstrom stufen wir aber am Rheochord passend ab. Nach einiger Zeit gewinnt man die ausreichende Uebung, um gerade so weit die Stromstärke zu schwächen, dass bei Reizung des polarisirten Nerven der Nadelausschlag kleiner ist, als bei Reizung des im natürlichen Zustande begriffenen, trotz dem aber die Erhöhung der Erregbarkeit noch zu Tage tritt.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Ausschlag am Multiplicator.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Ausschlag am Multiplicator.
1	3,3 Mm.	24,5 °	2	6,8 Mm.	23 °
3	5,9 -	21 °	4	6,8 -	17 °
5	6,7 -	12 °	6	7,0 -	11 °
7	3,3 -	12 °	8	5,7 -	8 °
9	3,0 -	10 °	10	4,9 -	9,5 °
11	3,0 -	11,5 °	12	4,0 -	10,5 °
13	2,5 -	10 °	14	3,9 -	9,5 °
15	2,2 -	10 °	16	3,9 -	9,5 °

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Ausschlag am Multiplicator.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Ausschlag am Multiplicator.
17	0,2 Mm.	11 °	18	0,7 Mm.	9 °
19	0,7 -	9,5 °	20	1,4 -	7 °
21	0,2 -	9,5 °	22	0,5 -	6 °
23	0,1 -	9,0 °	24	0,5 -	7,5 °

Als Specialbestimmung für diesen Versuch haben wir zu erwähnen: Der Abstand der beiden Electrodenpaare von einander betrug 8 Mm. Das Electrodenpaar des constanten Stromes stand vom Gastroknemius, d. h. von seinem Ansatze am Oberschenkelknochen, um 7 Mm. ab. Die Länge des Gastroknemius war = 35 Mm., die des Ischiadicus = 64 Mm. In der Tabelle giebt die dritte Columne die Ausschläge, welche beobachtet wurden, wenn der in natürlichem Zustande befindliche Nerv gereizt wurde, die letzte Columne aber diejenigen, welche der Reizung des polarisirten Nerven entsprachen.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Ausschlag am Multiplicator.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Ausschlag am Multiplicator.
1	2,3 Mm.	27,5 °	2	4,4 Mm.	27 °
3	2,3 -	24 °	4	3,7 -	23 °
5	1,5 -	28 °	6	2,4 -	25 °
7	0,3 -	29 °	8	2,4 -	28 °

Es ist der zweite Schenkel desselben Frosches. Die Bedingungen sind dieselben wie bei Versuch I.

Digitized by Google

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Ausschlag am Multiplicator.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Ausschlag am Multiplicator.
1	3,4 Mm.	7,5 °	2	8,1 Mm.	6 °
3	7,7 -	8 °	4	7,9 -	7,5 °
5	4,3 -	5,5 °	6	4,8 -	5,0 °
7	0,5 -	5,5 °	8	1,5 -	5,0 °
9	0,3 -	6,5 °	10	1,5 -	6,2 °

Der Abstand der beiden Electrodenpaare von einander betrug 6 Mm.; die Entfernung der positiven Electrode des constanten Stromes vom Musculus gastroknemius war 10 Mm., die Länge des letzteren 37 Mm., des Ischiadicus 67 Mm.

Versuch IV.

Zuckungszahl.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Ausschlag am Multiplicator.	Zuckungszahl.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Ausschlag am Multiplicator.
1	3,0 Mm.	18 °	2	5,5 Mm.	13 °
3	4,2 -	15,5 °	4	4,8 -	14 °
5	2,1 -	14,0 °	6	2,9 -	12 °
7	2,2 -	11 °	8	2,6 -	10 °
9	0,4 -	10,5 °	10	1,1 -	10 °

Der Abstand der Electrodenpaare betrug 5 mm., der Abstand der positiven Electrode des constanten Stromes vom Musculus gastroknemius 7 Mm., die Länge des letzteren 34 Mm., die des Nervus ischiadicus 62 Mm.

Digitized by Google

Versuch V.

Zuckungszahl.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Ausschlag am Multiplicator.	Zuckungszahl.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Ausschlag am Multiplicator.
1	2,6 Mm.	26°	2	7,7 Mm.	23°
3	6,8 -	26°	4	7,7 -	23°
5	2,2 -	18°	6	7,3 -	14,5°
7	3,6 -	16°	8	7,6 -	14,5°
9	3,3 -	16,5°	10	7,8 -	14°
11	4,5 -	16,5°	12	7,1 -	13°

Der Abstand der beiden Electrodenpaare betrug 5 mm., die Entfernung der positiven Electrode des constanten Stromes vom Musculus gastroknemius 9 Mm., die Länge des letzteren 36 Mm., die des Ischiadicus 68 Mm.

Die Versuchszeit war Ende Juli für alle diese Versuche.

Diese Beispiele, deren ich mehrere noch besitze, dürften ausreichen, um zu zeigen, dass sich auch mit Hülfe des aufsteigenden reizenden Kettenstromes die Erhöhung der Erregbarkeit nachweisen lässt. Der gemachte Einwand, dem zufolge jene Erhöhung nur in der verschiedenen Gestalt der Dichtigkeitscurven der reizenden Ströme ihren Grund habe, fällt also zusammen. Alle Vorsichtsmaassregeln, welche bei 1 besprochen wurden, sind auch hier streng beobachtet worden.

3. Nachweisung der erhöhten Erregbarkeit vor dem aufsteigenden Strome mit Hülfe eines reizenden aufsteigenden Oeffnungsinductionsschlages.

Die Contactwippe des electro-magnetischen Fallapparates wird in den primären Kreis sammt der inducirenden Spirale des Magnetelectromotors aufgenommen, ganz so wie es in dem Abschnitte II bei Betrachtung der Methode auseinandergesetzt worden ist. Indem dann der Hammer aus stets der-

Digitized by Google

selben Höhe herabfällt, unterbricht er stets mit derselben Geschwindigkeit den Contact im primären Kreise und soll also stets gleich starke Inductionsströme erregen. Ein Grovesches kleines Element ist mit dem primären Kreise verbunden, die primäre Spirale mit wohlgefirnissten Eisendrähten erfüllt. Die Kette und der Inductionsapparat, sowie die Drähte sammt dem Präparate sind sorgfältig durch Glas oder Luft isolirt, ebenso wie alle diejenigen Apparate, welche hiermit noch in leitender Verbindung stehen. Dies muss aber bekanntlich ja der unipolaren Wirkungen halber geschehen. Der Versuch ergab mir folgende Resultate:

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,1 Mm.	2	9,7 Mm.
3	1,2 -	4	9,7 -
5	1,9 -	6	10,0 -
7	1,5 -	8	9,9 -
9	1,9 -	10	9,7 -
11	1,4 -	12	9,4 -
13	3,4 -	14	9,6 -
15	3,5 -	16	9,6 -
17	3,2 -	18	9,5 -
19	3,4 -	20	9,4 -
21	1,4 -	22	9,5 -
23	3,4 -	24	9,3 -
25	0,9 -	26	9,4 -
27	3,2 -	28	9,6 -
29	1,3 -	30	9,0 -
31	1,5 -	32	8,8 -
33	0,3 -	34	6,8 -
35	0,3 -	36	7,9 -
37	1,2 -	38	7,7 -
39	1,2 -	40	6,5 -

Digitized by Google

Die Specialbedingungen dieses Versuchs waren: Electrodenspannweite = 4 Mm.; Abstand der Electrodenpaare = 5 Mm.; Abstand der positiven Electrode des constanten aufsteigenden Stromes von dem Musculus gastroknemius = 5 Mm.; Länge des letzteren = 35 Mm.; Länge des Ischiadicus = 63 Mm.

Versuch II.

Versuchszahl.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Versuchszahl.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,6 Mm.	2	9,3 Mm.
3	0,4 -	4	9,3 -
5	3,5 -	6	9,5 -
7	3,1 -	8	9,6 -
9	3,1 -	10	9,6 -
11	3,1 -	12	9,6 -
13	1,9 -	14	9,6 -
15	3,2 -	16	9,6 -
17	2,8 -	18	9,7 -
19	3,6 -	20	9,7 -
21	1,6 -	22	9,7 -
23	2,7 -	24	9,7 -
25	2,8 -	26	9,4 -
27	2,3 -	28	9,3 -
29	1,4 -	30	9,3 -
31	2,1 -	32	8,7 -
33	1,4 -	34	8,8 -
35	1,4 -	36	8,8 -
37	1,6 -	38	8,6 -
39	2,0 -	40	8,4 -
41	1,4 -	42	7,7 -
43	1,3 -	44	6,9 -
45	1,4 -	46	6,0 -
47	1,9 -	48	5,9 -
49	1,2 -	50	5,8 -
51	1,2 -	52	5,9 -

Digitized by Google

Versuchszahl.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Versuchszahl.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
53	1,2 Mm.	54	5,7 Mm.
55	1,3 -	56	5,9 -
57	1,1 -	58	5,1 -
59	1,0 -	60	6,3 -
61	1,0 -	62	5,7 -
63	1,0 -	64	5,4 -
65	1,0 -	66	5,4 -
67	0,9 -	68	5,5 -
69	0,9 -	70	5,4 -
71	0,8 -	72	4,3 -
73	0,7 -	74	2,9 -

Die Specialbedingungen dieses Versuchs sind dieselben wie vorher. Die Länge des Gastroknemius betrug 31 Mm., die des Ischiadicus 56 Mm.

Begnügen wir uns bis jetzt mit diesen Beispielen; ich könnte sie dem Leser zum Ueberdrusse mehren; es reichen dieselben schon einstweilen aus, um demselben einen Begriff von der experimentellen Geschicklichkeit desjenigen beizubringen, der vor Thatsachen von solcher Grösse gestellt, unfähig ist, sie wahrzunehmen. Doch bleibt uns noch übrig, ehe wir weiter schreiten, unser Resultat vor einigen Einwänden zu sichern.

Der erste bezieht sich natürlich auf die unipolare Wirkung, da wir uns des Oeffnungsschlages bedienten. Es wurde der Nachweis auf Nichtvorhandensein der unipolaren Wirkung mit Durchschneidung des Nerven zu beiden Seiten der Electroden des Inductionskreises geführt, nachdem die Schnittflächen wieder aneinander geklebt worden waren. Dem plexus sacralis legte ich noch den Nerven eines anderen stromprüfenden Schenkels an und liess dann den Inductionsschlag abermals durch die gegebene Stelle gehen, einmal während der constante Strom floss und einmal, wenn dies nicht der Fall war.

Keiner aber der beiden Muskeln zuckte. Sodann prüfte ich durch Einschaltung des Multiplicators in den secundären Inductionskreis und Anlegung des zweiten stromprüfenden Nerven an die Electrode des secundären Kreises, ob etwa Stromesschleifen von der constanten Kette aus in den secundären Kreis eingebrochen sein möchten. Aber wie die Nadel, so blieb auch der stromprüfende Schenkel bei Schliessung des constanten Stromes ganz ruhig.

Wir wenden uns endlich zur Widerlegung jenes bereits bei der Reizung mit dem Kettenstrome gemachten Einwandes, welcher also dahin geht, dass die Erregbarkeit oberhalb des aufsteigenden Stromes gar nicht unmittelbar verändert sei, sondern es nur dadurch zu sein scheine, dass der Nerv von seinem eigenen Polarisationsstrome durchflossen ist, was in erhöhtem Maasse hier stattfindet, wo zwei Punkte verschiedener Spannung leitend durch die metallische Leitung des secundären Kreises verbunden sind, der ja bereits vor Erregung des Inductionsstromes geschlossen ist. In dem einen Fall, wo wir den nicht polarisirten Nerven reizen, erhebt sich also die Dichtigkeitscurve des Inductionsstromes von der Abscisse Null bis zu ihrer definitiven Grösse. Bei Erregung des polarisirten Nerven aber steigt dieselbe bereits von einem kleinen Ordinatenwerthe an und wird also etwas höher liegen. Oder mit anderen Worten: es wird dieselbe Stromesschwankung im zweiten Falle zwischen höheren Ordinaten vor sich gehen. Da diese höheren Ordinaten aber, absolut genommen, niedrig sind, so würde dies an sich zur Folge haben, dass allerdings eine verstärkte Zuckung wahrgenommen wird, wie wir später sehen werden. Es ist indessen nicht sehr schwer, sich davon zu überzeugen, dass hierin der Grund der ungeheueren Zunahme der Zuckung nicht liegen kann. Denn lässt man, wie wir in der Folge specieller sehen werden, einen Strom von äusserster Schwäche, der eben noch die Nadel des Multiplicators bei doppelter Länge spurweise afficirt, durch den Nerven fliessen und schickt dann einen schwachen Inductionsschlag in derselben Richtung mit dem constanten Strome durch die durchflossene Strecke hindurch, so sind die Wirk-

Digitized by Google

kungen auf die Erregbarkeit durchaus verschwindend und nur kaum oder gar nicht mehr wahrzunehmen. Dieser Strom des Electrotonus aber bewegt wegen der grossen Widerstände und des schwachen „erregenden“ Stromes die Nadel gar nicht mehr; wie sollte er also so ungeheure Wirkungen hervorzubringen vermögen. Hiermit ist demnach auch dieser, auf den ersten Blick so gefährliche Einwand beseitigt, und es erscheint unmöglich, länger an der Richtigkeit der Behauptung zu zweifeln, dass die Erregbarkeit vor dem aufsteigenden Strome erhöht werde. Doch wollen wir zunächst unser Resultat noch ferner mit anderen Methoden zu sichern und weiter zu constatiren suchen.

4. Nachweisung der erhöhten Erregbarkeit vor dem aufsteigenden Strome mit Hülfe des Schliessungsinductionsschlages.

Der Hammer des electro-magnetischen Fallapparates wird nun mit der primären Kette in Verbindung gesetzt, welche durch ihn geschlossen werden soll, wie es oben beschrieben worden ist. Die Methoden bleiben sonst dieselben, wie bei Reizung mit dem Oeffnungsinductionsschlage. Ich gebe als Beispiel wiederum zwei Versuche, in welchen die Richtung des Inductionsschlages im Nerven die aufsteigende ist.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,3 Mm.	2	8,6 Mm.
3	0,2 -	4	8,7 -
5	0,2 -	6	6,9 -
7	0,2 -	8	6,9 -
9	0,2 -	10	7,9 -
11	0,6 -	12	8,7 -
13	0,2 -	14	8,4 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
15	0,4 Mm.	16	8,4 Mm.
17	0,4 -	18	6,9 -
19	0,4 -	20	6,0 -
21	0,3 -	22	6,4 -
23	0,3 -	24	6,4 -
25	0,2 -	26	7,4 -
27	0,4 -	28	6,8 -
29	0,2 -	30	6,9 -
31	0,4 -	32	6,9 -
33	0,4 -	34	6,9 -
35	0,5 -	36	5,4 -
37	0,4 -	38	5,8 -
39	0,3 -	40	5,7 -
41	0,2 -	42	5,8 -

Die Specialbedingungen des Versuches waren: Abstand der beiden Electrodenpaare = 5 Mm.; Abstand der positiven Electrode des aufsteigenden Stromes vom Muskel = 6 Mm.; Länge des Gastroknemius = 33 Mm., die des Ischiadicus = 66 Mm. Controlversuch wie bisher.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,7 Mm.	2	6,7 Mm.
3	0,7 -	4	6,5 -
5	0,8 -	6	7,0 -
7	0,7 -	8	6,8 -
9	0,9 -	10	6,8 -
11	0,9 -	12	5,5 -
13	0,9 -	14	6,8 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
15	0,9 Mm.	16	6,8 Mm.
17	0,9 -	18	8,0 -
19	0,8 -	20	8,0 -
21	0,9 -	22	8,3 -
23	0,9 -	24	7,4 -
25	0,9 -	26	6,2 -
27	0,8 -	28	7,3 -
29	0,8 -	30	7,0 -
31	0,8 -	32	6,8 -
33	0,8 -	34	6,0 -
35	0,9 -	36	5,6 -
37	0,9 -	38	5,7 -
39	1,2 -	40	6,4 -
41	0,9 -	42	5,1 -
43	0,2 -	44	5,2 -

Die Bedingungen des Versuches waren dieselben, wie bei dem vorigen. Die Controlversuche dieselben.

5. Nachweisung der Unabhängigkeit des Erscheinens der erhöhten Erregbarkeit von der Stromesrichtung.

Bereits bei Reizung mit dem Kettenstrome haben wir die Wahrnehmung gemacht, dass die Erhöhung der Erregbarkeit zu Tage tritt, welches auch immer die Richtung des reizenden Stromes sei. Denn wir vermochten dieselbe ja sowohl für die ab- wie für die aufsteigende Richtung darzuthun. Ebenso ist es durchaus gleichgültig, ob man mit einem auf- oder absteigenden Inductionsstrome reizt, da sich mit beiden die Erhöhung der Erregbarkeit nachweisen lässt.

Eine hierher gehörige Frage vom grössten theoretischen Interesse war aber die, ob auch die auf die Axe der Primi-

tivfaser senkrechte Strömungsrichtung jetzt vielleicht ein anderes Verhalten als sonst zeige. Ich habe den Versuch nach der Methode Galvani's mit Hülfe eines nassen Fadens angestellt, über welchen der Nerv senkrecht weggespannt wurde. Das Resultat, zu welchem ich gelangte, bestand darin, dass auch für diese Stromesrichtung ein zur Erregung günstiger Umstand eingeführt ist durch den unterhalb der gereizten Stelle vorhandenen aufsteigenden Strom. Denn sehr oft erschienen durch Quererregung, welche den im natürlichen Zustande begriffenen Nerven nicht afficirte, sofort mehr oder weniger lebhafte Zuckungen, wenn ich den constanten Strom in der bezeichneten Weise aufsteigend schloss, während nach der Oeffnung desselben die Quererregung sich wieder unwirksam erwies. Ich stellte ferner denselben Versuch noch so an, dass ich den reizenden Strom unter sehr verschiedenen Winkeln zur Axe der Primitivfaser durch den Nerven schickte, indem ich den Faden die verschiedensten Winkel mit jener Axe bilden liess. Stets trat die Erhöhung der Erregbarkeit deutlich hervor. Der Versuch wurde sowohl mit dem reizenden Kettenstrome als auch mit dem Schliessungsinductionsschlage angestellt. Die Polarisation war auch bei diesem Versuche ausgeschlossen.

Wir ziehen also hieraus den für die Theorie dieser Vorgänge äusserst wichtigen Schluss, dass jene Aenderungen der Erregbarkeit unabhängig von der Richtung der Kraft sind, mit welcher dieselbe ein gegebenes Molekel angreift.

6. Nachweisung der erhöhten Erregbarkeit mit Hülfe chemischer Reizung.

Es war in vielen Beziehungen von dem äussersten Interesse, noch durch einen andern als den electrischen Reiz nicht allein jene gröberen Veränderungen der Erregbarkeit nachzuweisen, sondern auch ihre Variation unter verschiedenen Bedingungen verfolgen zu können. Ich studirte deshalb zunächst genauer die Wirkungen, welche die concentrirte Kochsalzlösung auf den Nerven hervorbringt, ganz besonders aber

die Bedingungen, unter welchen eine schwächere oder stärkere Reizung durch diese hervorgebracht werden kann. Die in praktischer Beziehung erhaltenen Resultate sind für die Weiterverfolgung der mir vorschwebenden Probleme in der That von nicht geringem Vortheil gewesen, indem ich die chemische Reizung quantitativ so beherrschen lernte, dass sie ganz vortrefflich zu messenden Versuchen angewendet werden konnte, kaum der electrischen an Sicherheit nachsteht, ja sie zuweilen übertrifft. Die wichtigsten Momente, zu welchen ich gelangte, lassen sich kurz in folgenden Sätzen zusammenfassen.

Jede mit concentrirter Lösung von Kochsalz ausgeführte Reizung eines blossgelegten lebendigen Querschnittes der Nerven bringt augenblicklich tetanus hervor, welcher anfangs sehr heftig ist, aber auch sehr schnell wieder verschwindet. Wegen dieser Unbeständigkeit eignet sich diese Art der Reizung zu feineren Versuchen durchaus nicht. Die richtigste Methode besteht darin, den Nerven schlaff horizontal auszuspannen, sodass er eine Kettenlinie von mässiger Krümmung bildet. Diejenige Stelle nun, welche gereizt werden soll, sei die tiefste. Der Nerv selbst muss auf seiner Oberfläche zwar feucht, aber nicht nass sein. Man bringt nun auf die Spitze der dreieckigen Glasplatte des kleinen allgemeinen Trägers einen Tropfen concentrirter Kochsalzlösung. Die Ebene der dreieckigen Glasplatte liegt horizontal. Hierauf schiebt man die Spitze der Platte sanft unter die zu reizende Stelle des Nerven, wodurch dieselbe von dem Kochsalztropfen benetzt wird. Der Erfolg ist nun verschieden, je nach der Länge der vom Kochsalztropfen bespülten Stelle und nach dem Abstande dieser Stelle vom Muskel. Je kürzer die bespülte Strecke ist, oder je näher sie nach dem Muskel zu liegt, um so schwächer ist die Reizung und um so länger dauert es, bis nach erfolgter Benetzung der tetanus ausbricht, wenn überhaupt derselbe erscheint. So kann man also ziemlich sicher sein, dass eine auf die bezeichnete Weise mit concentrirter Kochsalzlösung umspülte Stelle des Nervus ischiadicus, welche nicht über 5 Mm. lang ist und etwas unter dem Ab-

Digitized by Google

gange der Oberschenkeläste des Nerven liegt, nicht in tetanus von selbst geräth. Nimmt man aber eine längere tiefe Strecke in den Tropfen auf, so erscheint nach 5 — 10 Minuten ein schwacher tetanus. Je weiter die benetzte Stelle vom Muskel entfernt liegt, um so eher wird von kurzen erregten Strecken aus nach einigen Minuten der tetanus erscheinen.

Mit dieser Kenntniss reicht man nun aus, um alle Gesetze, welche in diesem Werke über die im Electrotonus eintretende Veränderung der Erregbarkeit aufgestellt sind, auch mit Hülfe der chemischen Reizung zu constatiren. Die Schärfe der Beobachtung, welche diese Methode zulässt, ist in der That ganz überraschend, wie der Leser sich augenblicklich durch einen Blick auf die Kochsalzcurven überzeugen wird, welche genau nach den Zeichnungen auf der Myographiontafel vom Kupferstecher copirt sind.

Die specielle Methode nun, deren wir uns zur Nachweisung der Erregbarkeitserhöhung vor dem aufsteigenden constanten Strome mit Hülfe der Kochsalzreizung bedienen, besteht in Folgendem. Nachdem der Nerv über die Eiweisselectroden des constanten Stromes mit einer nahe dem Musculus gastroknemius gelegenen Stelle gebrückt ist, lässt man den anderen Theil des Nerven in einer sanften Kettenlinie ausgespannt sich mit Kochsalzlösung benetzen in einer Strecke von 4 Mm., so aber, dass zwischen Kochsalztropfen und negativer Electrode des constanten Stromes noch ein Raum von 4—6 Mm. frei bleibt. Hierauf wartet man etwa 5 Minuten, innerhalb welcher Zeit die Lösung durch den umspülten Nerven diffundirt, gleichwohl aber denselben so schwach nur reizt, dass er nicht in tetanus verfällt. Man schliesst nunmehr den constanten Strom in aufsteigender Richtung. — Der Muskel hat den gewaltigsten tetanus, der mehr oder weniger lange Zeit anhält und mit Unterbrechung des constanten Stromes wieder erlischt, um auf der Stelle meist noch stärker als zuerst wieder zu erscheinen, wenn der constante Strom aufs Neue aufsteigend geschlossen wird. Dieses Phänomen ist absolut constant, jeder Zeit und aller Orts.

Man vergleiche Fig. 8. Hier zeichnet die Spitze des Myographions den tetanus auf die sehr langsam bewegte Glasfläche auf. Sobald der Strom aufsteigend fliesst, erhebt sich durch mächtigen tetanus die Spitze und verharrt in dieser Höhe. Sobald der Strom unterbrochen wird, fällt sie augenblicklich wieder herab.

Nur einige Einwände sind es, welche wir hier noch zu erörtern haben. Man könnte nämlich zunächst daran denken, dass der tetanus gar nicht in der erhöhten Erregbarkeit, welche die schwache Kochsalzreizung zur Wirkung bringt, seinen Grund habe, sondern vielleicht auch ohne die Application des Kochsalzes aufgetreten sei, weil der constante Strom für sich bereits den Nerven zu erregen vermöge. Dieser Einwand ist indessen leicht zu beseitigen. Denn wenn man vor Application des Kochsalzes den aufsteigenden Strom unter diesen Verhältnissen bei nur 4 Mm. Spannweite durch den Nerven fliessen lässt, so erscheint kein tetanus; sondern erst einige Minuten nach der Application der Lösung. Man hat nämlich zu bemerken, dass die durch den constanten Strom selber hervorgebrachte Reizung im Allgemeinen sehr schwach ist und deshalb bei kurzen Strecken, zumal, wenn sie dem Muskel nahe sind, nicht hervortritt. Ausserdem aber braucht man nur den aufsteigenden Strom umzukehren, d. h. absteigend fliessen zu lassen, um sich zu überzeugen, dass augenblicklich der tetanus verschwindet.

Man sehe Fig. 9. Diese Zeichnung ist folgendermaassen gewonnen. Alle Gipfel bezeichnen den Theil der Curven, während welchen der Strom aufsteigend floss, alle Thäler aber denjenigen, bei welchem bald kein, bald ein absteigender Strom im Nerven vorhanden war. Derjenige Curventheil des Thales, welcher zwischen den beiden kleinen Vertikalstrichen liegt, ist gezeichnet, während ein absteigender Strom den Nerven durchfloss; der noch übrige Curventheil des Thales aber, während gar kein Strom vorhanden war.

Ein zweiter Einwand gegen die Beweiskraft unseres Versuches bezieht sich auf den Zweifel, wo die Wirkung des

Kochsalzes stattfinde, die ja nothwendig diffundirt und vielleicht Stellen angreift, welche weit entfernt sind von derjenigen, die ursprünglich von der Lösung umspült ist. Im Allgemeinen lässt sich gegen diesen Einwand nichts einwenden. Wohl aber kann man speciell zeigen, dass die eigentliche Reizung nur an der unmittelbar benetzten Stelle auftrete, anderwärts durchaus verschwinde. Den Beweis hierfür lieferte ich folgendermaassen. Nachdem auf die bezeichnete Art das Kochsalz durch den Nerven so weit diffundirt ist, dass mit jeder Schliessung des aufsteigenden Stromes ein mächtiger tetanus des Musculus gastroknemius hereinbricht, schneide man den Nerven unmittelbar über dem Kochsalztropfen durch und schliesse dann wiederum den constanten Strom. Wie zu erwarten war, ist der tetanus augenblicklich wieder vorhanden. Legt man aber nunmehr den Schnitt zwischen Tropfen und Electroden an und zwar dicht an der Kathode, so hat nunmehr die Schliessung des constanten aufsteigenden Stromes ihre Tetanus erregende Wirkung augenblicklich verloren. Sie erzeugt nur Schliessungszuckung und dann ist der Muskel ruhig. Abermals zeigt dies, dass der Tetanus weder in einer Inconstanz des Stromes, noch in seiner ihm ja zukommenden tetanisirenden Wirkung seinen Grund gehabt haben kann. Wir dürfen also darauf vertrauen, dass die Aetzung des Nerven wirklich local bleibt. Man könnte noch behaupten wollen, dass vielleicht auch noch tiefere Stellen des Nervus ischiadicus, also die zwischen den Electroden und diejenigen zwischen Muskel und diesen doch durch die Lösung erregt worden seien, was nur darum nach der Durchschneidung nicht bemerkbar werde, weil diese Anätzung in den Bereich der herabgesetzten Erregbarkeit des Nerven falle. Dieses lässt sich aber dadurch widerlegen, dass man die Electroden des constanten aufsteigenden Stromes nahe an den Musculus gastroknemius heranschiebt, wo dann die geätzten Stellen über die negative Electrode mit ausreichender Länge zu liegen kommen. Gleichwohl aber erweis't sich auch jetzt der constante Strom wirkungslos, d. h. erzeugt nur Schliessungs-

Digitized by Google

zuckung und keinen Tetanus. Von dieser Seite her also können wir in keine Täuschung verfallen sein.

Ein anderer Einwand entspringt aus folgender Betrachtung. Sobald die Kochsalzlösung den Nerven umgiebt, wird sie bei Schliessung des constanten Stromes eine gute Nebenschliessung für den Strom der „säulenartigen Polarisation“ bilden und der Nerv also an dieser Stelle von diesem durchflossen sein. Da nun schwache Ströme die Eigenschaft haben, bei einigermaassen günstigen Bedingungen Tetanus hervorzubringen, so könnte derselbe bereits durch den Polarisationsstrom vielleicht erzeugt worden sein. Um diesen Einwand zu widerlegen, legte ich dem Nerven sehr dicht an der negativen Electrode einen Platinbogen an, dessen Spannweite = 4 Mm. gesetzt war. Wenn nun der schwache Strom des Electrotonus bereits den Nerven zum Tetanus zu erregen vermag, so musste derselbe augenblicklich jetzt losbrechen, wenn der aufsteigende Strom geschlossen wird; um so mehr als dem Strome der „säulenartigen Polarisation“ nunmehr eine Nebenschliessung von so vortrefflicher Leitungsgüte geboten ist. Die Schliessung des constanten aufsteigenden Stromes lässt aber unter diesen Verhältnissen den Muskel ganz ruhig, zum Beweise, dass der Polarisationsstrom weit unter jener Grenze liegt, welche allerdings der constante Strom nicht überschreiten darf, ohne dass der Nerv in sehr merkbarem Grade erregt wird. Wir können also auch diesen Einwand als widerlegt betrachten.

Ein anderer aber, welcher schwerer zu beseitigen ist, entspringt aus folgender Erwägung. Sobald die Kochsalzlösung in das Innere des Nerven eingedrungen ist, wird sie die electromotorischen Molekeln nach einander, wenn auch sehr langsam zerstören. Wenn demnach der Nerv polarisirt ist, werden fortwährend hierdurch electromotorische Glieder der wirksamen Säule entrissen und mithin eine Abnahme, also eine Schwankung der Summe der electromotorischen Kräfte des umspülten Nervenstücks hervorgebracht. Diese Veränderungen müssen aber natürlich mit Stromesschwankungen verknüpft sein, welche den Nerven durchsetzen und ihn

also erregen könnten. Gegen diese Betrachtung lässt sich eine Reihe von Wahrscheinlichkeitsgründen vorbringen, welche mir aber gleichwohl so gewichtig erscheinen, dass sie den Werth des Einwandes durchaus zu entkräften geeignet sein dürften. Erwägt man nämlich, dass eine solche Kochsalzlösung mehr denn 15 Minuten braucht, bis sie die umspülte Stelle ihrer Leistungsfähigkeit beraubt hat, so muss man zugestehen, dass die Zerstörung der electromotorischen Molekeln nur äusserst langsam vorschreitet, sodass also gewiss nur ganz verschwindende Aenderungen der electromotorischen Kräfte in so kurzen Augenblicken stattfinden können. Wir haben ja aber gesehen, dass bei Anlegung eines metallischen Bogens von 4 Mm. Spannweite über dem aufsteigenden Strome von der angewandten Stärke niemals Zuckung entsteht, wenn jener Bogen selbst metallisch geschlossen wird. Hier aber ist es doch unmöglich zu bezweifeln, dass ein Strom von ganz anderer Grösse in den Nerven hereinbricht, sobald den durch den Electrotonus gesetzten Spannungen eine so gute Gelegenheit zur Abgleichung geboten ist. Wie sollten also die kleinen Schwankungen eines noch schwächeren Stromes so mächtigen Tetanus hervorbringen, wenn die Schliessung dieses stärkeren Stromes bereits wirkungslos ist. Hiernach glaube ich nicht, dass irgend Jemand noch an die Richtigkeit jenes Einwandes auch nur im Entferntesten denken kann.

So dürfte denn, so scheint es mir, der Beweis geführt sein, dass der aufsteigende Strom die Erregbarkeit vor sich zu erhöhen vermöge, nachdem uns so verschiedene Methoden stets zu demselben Ziele geführt haben.

Ehe wir indessen weiter schreiten und den entdeckten Zustand in Bezug auf seine Abhängigkeit von verschiedenen Bedingungen untersuchen, wird es angemessen sein, zur Umgehung fortwährender Umschreibungen, nunmehr eine neue Nomenclatur für unser Gebiet zu schaffen, welches dereinst einen der wichtigsten Bausteine zur Molecularhypothese liefern wird. Ich schlage demgemäss vor, den an der negativen Electrode, der Kathode, des constanten Stromes auftretenden Zustand veränderter Erregbarkeit kurzweg als Katelectro-

Digitized by Google

tonus zu bezeichnen, den an der positiven Electrode, der Anode, aber als Anelectrotonus. Ich nenne einen dieser Arten des Electrotonus absteigend, wenn er sich von der unmittelbar durchflossenen Stelle nach dem Muskel zu fortgepflanzt hat, aufsteigend, wenn das Umgekehrte der Fall ist. Ich bezeichne ferner den Zustand zwischen den Polen des constanten Stromes als intrapolaren, den ausserhalb derselben als extrapolaren Electrotonus.

Wir wenden uns demgemäss nunmehr zur näheren Erforschung des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus.

Kapitel II.

Ueber den Einfluss des Abstandes einer gegebenen Nervenstrecke von den Electroden des constanten Stromes auf die Stärke des extrapolaren aufsteigenden Katelectrotonus.

Die Resultate, zu welchen wir durch unsere Untersuchungen geführt wurden, zielen alle dahin, dass die Stärke des Katelectrotonus um so geringer ausfällt, je weiter die electrotonisirte Stelle von der intrapolaren Strecke entfernt ist.

1. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der Mittelwerthe und des Reizes einer Kette.

Diese Methode der Mittelwerthe besteht nun in Folgendem. Nachdem ich durch längeren Umgang mit Reizversuchen verschiedener Art immer mehr in der Ansicht bestärkt wurde, dass die sogenannte verschiedene Erregbarkeit der Frösche, der zufolge die Fundamentalgesetze der electrischen Reizung bei einem so, bei dem anderen umgekehrt sein sollen, nicht

in der Natur, sondern in der mangelhaften Methode der Experimentatoren ihren Grund hat, glaubte ich es wagen zu dürfen, geradezu von der negativen Electrode des aufsteigenden Stromes verschieden entfernte, katelectrotonisirte Stellen an verschiedenen Fröschen mit einander zu vergleichen. Die polarisirende Stromstärke sollte natürlich bei einem Frosche denselben Werth haben, wie bei dem anderen, indem ich jedesmal bei Beginn des Versuchs mit Hülfe von Multiplicator und Rheochord dieselbe Stromstärke einstellte. Die Frösche sollten sämmtlich von nahezu gleicher Grösse genommen werden, und alle sich unter denselben Verhältnissen befunden haben. Die Electroden waren stets von derselben Spannweite; denn alle Versuche wurden an demselben Electrodenpaare schnell in einigen Tagen, fortwährend hinter einander angestellt. So untersuchte ich in einer grossen Zahl von Versuchen, bei welchen im natürlichen Zustande der Nerven das Zuckungsminimum ausgelöst wurde, erst den Zuckungszuwachs bei einem Abstande der Electrodenpaare von 5 Mm., dann ebenso für 20 Mm. und endlich für 35 Mm. Obwohl ich anfangs selbst zweifelte, dass dieses etwas kühne Verlangen von Erfolg gekrönt sein würde, so fand ich mich dennoch eines Anderen durch die Versuche belehrt, was natürlich in der ausserordentlichen Steilheit der zu bestimmenden Curve seinen Grund hat.

Ich gebe nun für jede Distanz 3 Probeversuche, und schliesslich werde ich dann die aus allen angestellten Versuchen gezogenen Mittelwerthe in eine Tabelle für die verschiedenen Entfernungen zusammenstellen. Die jetzt mitzutheilenden Versuche sind noch mit der Kette als Reizmittel angestellt, welche mit dem Eisenrheochord in Verbindung gesetzt war. Die Schliessungen aber wurden mit der Hand ausgeführt, da ich zu jener Zeit noch nicht den electro-magnetischen Fallapparat besass. Der reizende Strom war absteigend. Der Multiplicator war mit doppelter Länge eingeschaltet und seine Nadel wurde durch den constanten aufsteigenden Strom auf 40° constanter Ablenkung erhalten. Jedesmal nach dem Versuche prüfte ich wieder an dem bereits benützten,

unberührt gebliebenen Nerven die Stromstärke und compensirte sie sofort, wenn sie sich etwas verändert hatte; doch geschah das nie vor dem Versuche.

A. Versuche, in denen der Abstand der Electrodenpaare = 5 Mm. gesetzt war.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	2,2 Mm.	2	8,7 Mm.
3	2,3 -	4	8,7 -
5	2,5 -	6	8,6 -
7	2,5 -	8	8,7 -
9	2,5 -	10	8,8 -
11	0,9 -	12	8,7 -
13	1,3 -	14	8,6 -
15	1,2 -	16	8,7 -
17	1,2 -	18	8,7 -
19	1,3 -	20	8,8 -
21	0,9 -	22	8,7 -
23	1,6 -	24	9,0 -
25	0,8 -	26	8,4 -
27	0,7 -	28	8,3 -
29	1,0 -	30	8,3 -
31	1,5 -	32	7,0 -
33	0,4 -	34	7,8 -
35	3,5 -	36	8,9 -
37	1,2 -	38	7,8 -
39	1,2 -	40	7,9 -
41	1,2 -	42	7,9 -
43	0,3 -	44	5,5 -
45	0,4 -	46	7,1 -
47	1,2 -	48	7,7 -
49	2,6 -	50	8,2 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
51	0,3 Mm.	52	7,5 Mm.
53	0,3 -	54	4,8 -
55	0,3 -	56	2,0 -

Die Specialbedingungen dieses Versuches waren: Länge des Gastroknemius = 37 Mm., des Ischiadicus = 75 Mm.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,1 Mm.	2	8,6 Mm.
3	0,9 -	4	8,7 -
5	1,9 -	6	8,5 -
7	1,6 -	8	8,5 -
9	1,6 -	10	8,6 -
11	1,1 -	12	8,5 -
13	0,9 -	14	8,5 -
15	1,6 -	16	8,5 -
17	0,5 -	18	7,6 -
19	0,7 -	20	7,8 -
21	0,8 -	22	8,0 -
23	0,8 -	24	8,0 -
25	0,8 -	26	8,0 -
27	0,6 -	28	7,9 -
29	0,4 -	30	7,7 -
31	0,3 -	32	7,3 -
33	0,4 -	34	7,2 -
35	0,5 -	36	6,6 -
37	0,2 -	38	7,0 -
39	0,7 -	40	6,7 -
41	0,5 -	42	6,7 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
43	0,4 Mm.	44	5,8 Mm.
45	0,3 -	46	5,6 -
47	0,3 -	48	6,1 -
49	0,4 -	50	6,1 -
51	0,4 -	52	6,1 -
53	0,3 -	54	5,8 -
55	0,3 -	56	4,7 -
57	0,5 -	58	5,7 -
59	0,5 -	60	5,1 -
61	0,2 -	62	5,0 -

Die Specialbedingungen dieses Versuches waren: Länge des Musculus gastroknemius = 33 Mm., Länge des Nervus ischiadicus = 67 Mm.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,1 Mm.	2	8,1 Mm.
3	0,9 -	4	8,0 -
5	1,0 -	6	8,3 -
7	1,0 -	8	8,2 -
9	0,3 -	10	8,2 -
11	0,5 -	12	7,8 -
13	1,3 -	14	8,4 -
15	1,0 -	16	8,3 -
17	1,1 -	18	8,5 -
19	0,3 -	20	8,4 -
21	0,4 -	22	8,5 -
23	1,1 -	24	8,5 -
25	1,6 -	26	8,1 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
27	0,3 Mm.	28	8,1 Mm.
29	0,4 -	30	7,5 -
31	1,6 -	32	8,2 -
33	0,5 -	34	8,2 -
35	0,8 -	36	7,9 -
37	2,2 -	38	7,4 -
39	0,5 -	40	6,2 -
41	0,3 -	42	6,8 -
43	0,5 -	44	6,9 -
45	0,6 -	46	5,8 -
47	1,0 -	48	6,0 -
49	2,0 -	50	4,1 -
51	1,5 -	52	4,7 -
53	0,5 -	54	5,2 -
55	0,6 -	56	5,1 -
57	1,0 -	58	5,7 -
59	1,7 -	60	5,0 -
61	0,5 -	62	3,4 -
63	0,6 -	64	4,2 -
65	0,2 -	66	4,1 -

Die Länge des Musculus gastroknemius = 33 Mm., des Nervus ischiadicus = 67 Mm.

B. Versuche, in denen der Abstand der Electrodenpaare = 20 Mm. gesetzt ist, während alles Uebrige constant bleibt.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,5 Mm.	2	5,0 Mm.
3	1,8 -	4	4,8 -
5	1,2 -	6	5,1 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
7	1,3 Mm.	8	2,6 Mm.
9	1,6 -	10	4,0 -
11	1,1 -	12	3,3 -
13	1,0 -	14	2,0 -
15	1,4 -	16	3,9 -
17	1,8 -	18	3,1 -
19	1,7 -	20	3,0 -
21	0,9 -	22	0,9 -
23	0,9 -	24	1,4 -
25	1,4 -	26	1,3 -
27	0,4 -	28	1,4 -
29	1,7 -	30	1,5 -
31	1,7 -	32	1,4 -
33	1,3 -	34	1,4 -
35	0,4 -	36	0,4 -
37	0,7 -	38	1,6 -
39	0,3 -	40	0,2 -
41	1,2 -	42	1,3 -
43	0,3 -	44	1,7 -
45	0,2 -	46	0,2 -

Länge des Musculus gastroknemius = 30 Mm., des Nervus ischiadicus = 58 Mm.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,7 Mm.	2	5,4 Mm.
3	0,7 -	4	5,5 -
5	0,6 -	6	5,6 -
7	1,5 -	8	6,6 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
9	1,9 Mm.	10	6,5 Mm.
11	1,4 -	12	5,6 -
13	1,1 -	14	5,5 -
15	1,1 -	16	5,5 -
17	1,2 -	18	4,0 -
19	1,4 -	20	2,7 -
21	1,4 -	22	2,5 -
23	1,3 -	24	2,3 -
25	1,4 -	26	1,7 -
27	1,2 -	28	1,5 -
29	1,4 -	30	1,5 -
31	1,2 -	32	1,1 -
33	1,1 -	34	1,4 -
35	0,9 -	36	1,3 -
37	1,5 -	38	1,3 -
39	1,2 -	40	1,8 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 35 Mm.; die des Nervus ischiadicus = 64 Mm.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,4 Mm.	2	3,5 Mm.
3	2,0 -	4	3,9 -
5	1,4 -	6	4,4 -
7	0,4 -	8	3,2 -
9	0,3 -	10	2,8 -
11	0,4 -	12	2,9 -
13	2,9 -	14	3,8 -
15	1,5 -	16	2,1 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
17	2,0 Mm.	18	2,4 Mm.
19	2,7 -	20	3,1 -
21	2,0 -	22	2,0 -

Die Länge des Gastroknemius = 35 Mm.; die des Ischiadicus = 64 Mm.

C. Versuche, bei denen der Abstand der Electrodenpaare = 35 Mm. gesetzt ist, während alles Uebrige constant bleibt.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Grösse der Zuckung bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Grösse der Zuckung bei polarisirten Nerven.
1	0,3 Mm.	2	0,3 Mm.
3	0,8 -	4	2,5 -
5	0,8 -	6	1,2 -
7	0,3 -	8	1,3 -
9	1,8 -	10	1,9 -
11	0,9 -	12	0,2 -
13	1,3 -	14	1,4 -
15	0,7 -	16	0,1 -
17	1,8 -	18	1,9 -
19	1,9 -	20	1,4 -
21	1,3 -	22	1,1 -
23	0,9 -	24	2,4 -
25	0,9 -	26	0,9 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 37 Mm.; die des Nervus ischiadicus = 67 Mm.

Digitized by Google

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,2 Mm.	2	0,4 Mm.
3	1,7 -	4	2,4 -
5	1,6 -	6	2,4 -
7	2,1 -	8	2,6 -
9	1,4 -	10	1,4 -
11	1,9 -	12	1,6 -
13	1,6 -	14	0,3 -
15	1,6 -	16	1,0 -
17	1,3 -	18	3,8 -
19	0,9 -	20	1,4 -
21	1,0 -	22	1,4 -
23	1,4 -	24	2,2 -
25	1,4 -	26	1,5 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 38 Mm.; die des Nervus ischiadicus = 67 Mm.

Versuch III.

Versuchszahl.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Versuchszahl.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,5 Mm.	2	4,4 Mm.
3	2,6 -	4	4,1 -
5	0,5 -	6	2,5 -
7	0,3 -	8	3,0 -
9	1,2 -	10	3,4 -
11	2,1 -	12	2,6 -
13	1,8 -	14	2,7 -
15	2,0 -	16	3,3 -
17	2,0 -	18	3,3 -
19	1,8 -	20	3,3 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
21	1,4 Mm.	22	2,2 Mm.
23	1,4 -	24	1,9 -
25	1,7 -	26	1,5 -
27	0,9 -	28	1,5 -
29	1,6 -	30	1,7 -
31	1,5 -	32	1,7 -
33	0,9 -	34	1,0 -
35	1,4 -	36	1,5 -
37	1,6 -	38	1,5 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 37 Mm.; die des Nervus ischiadicus = 68 Mm.

Betrachten wir nur ganz oberflächlich diese Tabellen, so bemerken wir sofort das allgemeine Gesetz. Bei demjenigen Abstande der Electrodenpaare, welcher = 5 Mm. war, ist eine ausserordentlich grosse Zunahme der Zuckung ausnahmslos vorhanden, sobald unterhalb der gereizten Stelle den Nerven der constante Strom in aufsteigender Richtung durchfliesst. Der Electrodenabstand von 20 Mm. ergiebt ebenfalls noch ausnahmslos und vollkommen deutlich die Zunahme der Zuckung. Gleichwohl ist diese Zunahme beträchtlich geringer als vorher, wo der Abstand der Electrodenpaare nur gleich 5 Mm. gesetzt wurde. Bei dem Abstande derselben von 35 Mm. hingegen ist nur kaum noch oder gar nicht mehr die Zuckung verstärkt worden, sodass sogar in einzelnen Fällen die Zuckung während des electrotonischen Zustandes etwas kleiner ausfiel, weil nunmehr die geringe zu beobachtende Grösse von einerlei Ordnung mit den Fehlergrenzen wird.

Eine zweite sehr interessante Wahrnehmung bei Betrachtung der Zahlenreihen, welche die Grösse der Zuckung während des electrotonischen Zustandes messen, zeigt uns ein verschiedenes Gesetz, nach welchem für verschiedene Ab-

stände der Electrodenpaare die Wirkung des Stromes abnimmt. Während nämlich nach 30 und mehr Zuckungen die Erhöhung der Erregbarkeit noch fast ganz ungeschwächt heraustritt, sowie beim Beginn des Versuchs und erst gegen die 60ste Zuckung stark abgenommen hat, so lange der Electrodenabstand nur 5 Mm. beträgt, ist bei der 30sten Zuckung für den Electrodenabstand von 20 Mm. die Wirkung des Stromes schon fast ganz undeutlich geworden. Bei dem Abstande von 35 Mm. aber verschwindet die Wirkung des Stromes im Allgemeinen noch schneller. Wir werden später Gelegenheit haben, diese Thatsache noch weiter zu constatiren. Es scheint demnach, dass die Curve, welche die positiven Zuckungszuwächse über dem zur Abscisse genommenen Nerven darstellt, mit der Zeit steiler wird. Ich schliesse dies daraus, dass, wie ich mich überzeugt habe, die Wirkung des Stromes in der Nähe der negativen Electrode auch dann viel länger als in der Ferne anhält, wenn der polarisirende Strom schwächer war und nicht das Zuckungsmaximum als Zuwachs bedingte.

Eine andere Bemerkung endlich, die ich ausser diesen Versuchen auch in den anderen hier nicht mitgetheilten gemacht habe, besteht darin, dass die Wirkung des constanten Stromes gemeiniglich nicht bei der ersten Schliessung mit ihrer vollen Stärke heraustritt, sondern erst nachdem dieselbe mehrmals widerholt worden ist. Dies stimmt genau mit dem überein, was du Bois-Reymond bei seinen Untersuchungen über die Grösse des Zuwachses am Multiplicator beobachtet hat.

Um uns ein noch deutlicheres Bild zu schaffen von der Gestalt der Curven, gebe ich nun eine Tabelle, worin aus allen übrigen nicht mitgetheilten Versuchen die Mittelwerthe des Zuckungszuwachses gezogen sind, für die verschiedenen Entfernungen von 5 Mm., 20 Mm. und 35 Mm.

Abstand der Electrodenpaare = 5 Mm. Mittlerer Zuckungszuwachs.	Abstand der Electrodenpaare = 20 Mm. Mittlerer Zuckungszuwachs.	Abstand der Electrodenpaare = 35 Mm. Mittlerer Zuckungszuwachs.
+ 7,4	+ 4,2	+ 0,9
+ 6,0	+ 3,3	+ 0,3
+ 6,4	+ 1,0	+ 0,3
+ 6,2	+ 1,6	+ 0,1
+ 6,3	+ 1,9	— 0,1
+ 7,8	+ 1,2	+ 0,5
+ 8,1	+ 0,8	
+ 7,5	+ 0,4	
+ 5,4	+ 0,4	

Ehe wir nun weiter schreiten, bleibt uns noch Einiges zu erwähnen übrig. Zunächst haben wir hier darauf hinzuweisen, dass der mittlere Zuckungswerth bei nicht polarisirten Nerven für alle Distanzen derselbe blieb, während ich die Länge des Musculus gastroknemius im Allgemeinen grösser wählte für die grösseren Entfernungen. Einem längeren Muskel musste ja unter sonst gleichen Verhältnissen ein grösserer Zuckungszuwachs entsprechen, weshalb wir bei diesem längeren Muskel aus einem kleineren Zuwachse bei grösserer Entfernung caeteris paribus a fortiori auf unser Gesetz schliessen können. Ehe wir indessen dasselbe als gesichert ansehen, wird noch eine Discussion der Fehlerquellen nothwendig sein, welche aus der Einmischung der Ströme des Electrotonus entspringen könnten. Aber auch diese Einmischung kann unser Resultat nur noch sicherer gemacht haben. Denn je näher das reizende Electrodenpaar demjenigen des constanten, polarisirenden Stromes liegt, um so mächtiger ist die von der säulenartigen Polarisation herrührende electromotorische Kraft. Da nun in diesen Versuchen, bei welchen wir uns als Reiz der Schliessung einer einfachen Kette bedienten, der Strom dieser im Nerven stets absteigend war, so musste natürlich bei Reizung des electrotonisirten Nerven der reizende Strom durch den vom Electrotonus her-

rührenden um so mehr geschwächt werden, je näher die Reizung der negativen Electrode des constanten Stromes ausgeführt wurde. Gleichwohl entsprach nun der schwächeren Reizung stets eine stärkere Zuckung, wodurch wir also wiederum a fortiori auf die Richtigkeit unseres Gesetzes zu schliessen uns berechtigt halten. Es bedarf wohl keiner besonderen Versicherung, dass bei jedem einzelnen Versuche wiederum ferner alle Controlversuche angestellt worden sind, wie wir dieselben oben dargelegt haben, als es sich zunächst darum handelte, den Beweis der Zunahme der Erregbarkeit oberhalb der negativen Electrode zu stellen. Die Untersuchung hat uns demnach bis hierher zu dem Resultate geführt, dass der Zuckungszuwachs, welcher auf den aufsteigend katelectrotonisirten Strecken beobachtet wird, um so grösser ist, je näher die betrachtete Stelle der intrapolaren liegt.

Wenden wir uns nunmehr zu anderen Methoden, um dieselben Gesetze zu constatiren.

2. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der Mittelwerthe und des Reizes eines Oeffnungsinductionsschlages.

Die specielle Methode, deren wir uns hier bedienen, ist im Allgemeinen dieselbe wie vorher. Nur benutzen wir statt der Reizung mit der Kette jetzt den Oeffnungsinductionsschlag, und zwar in aufsteigender Richtung. Wir wählen die aufsteigende Richtung, weil so die Gestalt der Curve des reizenden Stromes eine möglichst wenig complicirte ist und am wenigsten sich ändert, für den Fall, dass der Nerv aus dem natürlichen in den electrotonischen Zustand übergeht. Denn bei umgekehrter Richtung des Schlages würde bei der Reizung des polarisirten Nerven eine Stromesumkehr in demselben stattfinden, deren Wirkung an sich doch immer schwierig zu controliren ist, was für den anderen Fall nicht Platz greift,

da es uns gelungen ist, genau zu erforschen, ob bereits die Verschiebung der reizenden Dichtigkeitscurve um die gegebene Grösse in der Richtung der Coordinatenaxe die beobachteten Erregbarkeitsveränderungen hervorgebracht haben kann.

Die primäre Spirale des Inductionsapparates wird nun in den Kreis der Kette aufgenommen, sowie auch die Contactwippe des Hammers, welcher die Unterbrechung mit stets derselben Geschwindigkeit ausführen soll. Die primäre Rolle ist mit gefirnissten Eisendrähten erfüllt und mit einem der kleinen Grove'schen Elemente in Verbindung. Der Schliessungsinductionsschlag wird mit der Hand abgeblendet von dem Nerven, zu welchem dann eine metallische Nebenschliessung von geringem Widerstande angebracht wird. Alle Vorrichtungen zur Vermeidung der unipolaren Inductionswirkungen sind auf das Sorgfältigste getroffen. Am Ende jedes Versuches aber werden die oben angegebenen Controlversuche stets gemacht zur Constatirung des Nichtvorhandenseins von Stromesschleifen und unipolaren Wirkungen. Mit Hülfe des Rheochords wird die Stromstärke bei allen Versuchen constant erhalten, indem nach jedem die Nadel des Multiplicators wieder auf denselben Grad constanter Ablenkung eingestellt wird, wenn eine Variation der Stromstärke stattgefunden hat. Ich habe nun mit Hülfe des Oeffnungsinductionsschlages nur 2 weit entfernte Distanzen als Variabelen benutzt, weil wegen der schwierigen Beherrschung desselben es mir zweifelhaft war, ob er die feinere Bestimmung dreier Punkte, die dann einander näher liegen müssen, mit ausreichender Genauigkeit geben würde.

A. Versuche, bei denen der Electrodenabstand = 5 Mm. gesetzt war.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,1 Mm.	2	9,7 Mm.
3	1,2 -	4	9,7 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
5	1,9 Mm.	6	10,0 Mm.
7	1,5 -	8	9,9 -
9	1,9 -	10	9,7 -
11	1,4 -	12	9,4 -
13	3,4 -	14	9,6 -
15	3,5 -	16	9,6 -
17	3,2 -	18	9,5 -
19	3,4 -	20	9,4 -
21	1,4 -	22	9,5 -
23	3,4 -	24	9,3 -
25	0,9 -	26	9,4 -
27	3,2 -	28	9,6 -
29	1,3 -	30	9,0 -
31	1,5 -	32	8,8 -
33	0,3 -	34	6,8 -
35	0,3 -	36	7,9 -
37	1,2 -	38	7,7 -
39	1,2 -	40	6,5 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 35 Mm., die des Nervus ischiadicus = 63 Mm.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,6 Mm.	2	9,3 Mm.
3	0,4 -	4	9,5 -
5	3,5 -	6	9,5 -
7	3,1 -	8	9,6 -
9	3,1 -	10	9,6 -
11	1,9 -	12	9,6 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
13	3,2 Mm.	14	9,6 Mm.
15	2,8 -	16	9,7 -
17	3,6 -	18	9,7 -
19	1,6 -	20	9,7 -
21	2,7 -	22	9,7 -
23	2,8 -	24	9,7 -
25	2,3 -	26	9,4 -
27	1,4 -	28	9,3 -
29	2,1 -	30	9,3 -
31	1,4 -	32	8,7 -
33	1,4 -	34	8,8 -
35	1,6 -	36	8,6 -
37	2,0 -	38	8,4 -
39	1,4 -	40	7,7 -
41	1,3 -	42	6,9 -
43	1,4 -	44	6,0 -
45	1,9 -	46	5,9 -
47	1,2 -	48	5,8 -
49	1,2 -	50	5,9 -
51	1,2 -	52	5,7 -
53	1,3 -	54	5,8 -
55	1,1 -	56	6,3 -
57	1,0 -	58	5,7 -
59	1,0 -	60	5,7 -
61	1,0 -	62	5,4 -
63	1,0 -	64	5,4 -
65	1,0 -	66	5,4 -
67	0,9 -	68	5,5 -
69	0,9 -	70	5,4 -
71	0,8 -	72	4,3 -
73	0,7 -	74	2,9 -

Es ist der zweite Schenkel desselben Frosches, an dem auch der vorige Versuch angestellt wurde.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,2 Mm.	2	9,4 Mm.
3	2,1 -	4	9,4 -
5	1,9 -	6	9,3 -
7	1,1 -	8	9,4 -
9	2,2 -	10	9,0 -
11	1,2 -	12	8,9 -
13	1,2 -	14	8,7 -
15	1,8 -	16	9,1 -
17	1,7 -	18	8,4 -
19	0,4 -	20	8,0 -
21	1,4 -	22	8,4 -
23	2,5 -	24	8,2 -
25	1,0 -	26	8,8 -
27	1,4 -	28	8,7 -
29	1,5 -	30	8,6 -
31	1,6 -	32	8,4 -
33	1,7 -	34	8,0 -
35	0,9 -	36	6,5 -
37	0,5 -	38	7,2 -
39	0,1 -	40	8,5 -
41	1,8 -	42	7,9 -
43	0,7 -	44	5,3 -
45	1,7 -	46	5,3 -
47	1,3 -	48	5,3 -
49	1,9 -	50	5,0 -
51	0,9 -	52	6,2 -
53	0,2 -	54	4,7 -
55	0,6 -	56	4,4 -
57	0,1 -	58	3,9 -
59	0,5 -	60	3,9 -
61	0,8 -	62	3,2 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 36 Mm., die des Nervus ischiadicus = 58 Mm.

B. Versuche, bei denen der Electrodenabstand = 25 Mm. gesetzt war.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,6 Mm.	2	1,2 Mm.
3	0,5 -	4	1,0 -
5	1,0 -	6	3,2 -
7	0,5 -	8	0,6 -
9	0,4 -	10	1,5 -
11	0,7 -	12	0,7 -
13	0,6 -	14	1,0 -
15	0,6 -	16	0,1 -
17	0,8 -	18	0,3 -
19	0,3 -	20	0,2 -
21	0,3 -	22	0,4 -
23	0,3 -	24	0,6 -
25	0,2 -	26	0,3 -
27	0,3 -	28	0,1 -
29	0,5 -	30	0,3 -

Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 36 Mm., die des Nervus ischiadicus 68 Mm.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,1 Mm.	2	1,2 Mm.
3	1,1 -	4	1,2 -
5	1,2 -	6	2,0 -
7	1,2 -	8	1,2 -
9	1,1 -	10	2,0 -
11	0,2 -	12	0,1 -
13	0,2 -	14	0,1 -

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,1 Mm.	2	1,2 Mm.
3	1,1 -	4	1,2 -
5	1,2 -	6	2,0 -
7	1,2 -	8	1,2 -
9	1,2 -	10	2,0 -
11	1,1 -	12	0,2 -
13	0,2 -	14	0,2 -
15	0,2 -	16	0,1 -

Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 39 Mm., die des Nervus ischiadicus 72 Mm.

Ohne dass es nothwendig wäre, Mittelwerthe aus diesen Versuchen zu ziehen, übersieht man unmittelbar das scharf heraustretende Gesetz, dem zufolge bei einem Abstande von 5 Mm. der Zuckungszuwachs ganz ausserordentlich gross ist, während in einer Entfernung von 25 Mm. von der negativen Electrode des constanten aufsteigenden Stromes die Wirkungen desselben nur noch spurweise oder gar nicht mehr nachweisbar sind.

Ich gebe noch von den übrigen, nicht mitgetheilten Versuchen, bei welchen der Oeffnungsinductionsstrom als Reizmittel angewendet wurde, folgende Mittelwerthe:

Mittlerer Zuckungszuwachs bei einer Entfernung der Electrodenpaare = 5 Mm.	Mittlerer Zuckungszuwachs bei einer Entfernung der Electrodenpaare = 25 Mm.
+ 8,2	+ 0,3
+ 7,9	+ 0,5
+ 5,8	+ 0,1
+ 5,3	+ 0,9
+ 8,3	+ 0,1

Mittlerer Zuckungszuwachs bei einer Entfernung der Electrodenpaare = 5 Mm.	Mittlerer Zuckungszuwachs bei einer Entfernung der Electrodenpaare = 25 Mm.
+ 6,2	+ 1,3
+ 5,6	— 0,1
+ 7,3	+ 0,6
+ 6,4	+ 0,8
+ 8,3	
+ 7,6	
+ 8,2	

Diese Versuche dürften wohl ausreichen, um unser Gesetz über allen Zweifel erhaben zu stellen, obschon wir fortfahren werden, noch ferner mit anderen Methoden dasselbe zu verfolgen. Wesentlich Neues hat uns nunmehr die Reizung mit dem Inductionsschlage nicht gelehrt, und schreiten wir deshalb sofort zur Constatirung unseres Gesetzes mit Hülfe einer anderen Methode, deren Resultate eine noch grössere Strenge haben, als die bis jetzt erhaltenen.

3. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der Mittelwerthe und des Reizes eines Schliessungsinductionsschlages.

Die Methode, welche sich als Reiz des Schliessungsinductionsschlages in aufsteigender Richtung bedient, ist als die strengste und eleganteste zu betrachten, weil die Fehlergrenzen sehr klein sind und weit unter den zu beobachtenden Werthen liegen, die ja, wie wir gesehen, eine ausserordentliche Grösse haben.

Die Methoden bleiben dieselben wie bisher. Nur wird nun der Hammer selbst in den primären Kreis aufgenommen, um zur Schliessung desselben zu dienen. Die Zuleitungsdrähte werden deshalb (s. Fig. 7.) dem entsprechend an den

electro-magnetischen Fallapparat angeschraubt, der eine an die Klemme (e), der andere an die Klemme (g′) oder eine ihr entsprechende, welche nicht mit dem Fallapparat in Verbindung steht, damit das Quecksilber durch den Stoss des herabfallenden schweren Hammers nicht aus dem Näpfchen geschleudert werde. Ausserdem ist nun natürlich die primäre Rolle noch in den inducirenden Kreis aufgenommen, und der kleine Apparat in den Stand gesetzt, welcher den Oeffnungsschlag immer von selber abblenden soll. Hiermit schreiten wir denn sofort zu den Versuchen.

A. Versuche, bei denen der Abstand der Electrodenpaare = 5 Mm. gesetzt war.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,3 Mm.	2	8,6 Mm.
3	0,2 -	4	8,7 -
5	0,2 -	6	6,9 -
7	0,2 -	8	6,9 -
9	0,6 -	10	7,9 -
11	0,2 -	12	8,7 -
13	0,4 -	14	6,4 -
15	0,4 -	16	8,4 -
17	0,4 -	18	6,9 -
19	0,3 -	20	6,0 -
21	0,3 -	22	6,4 -
23	0,2 -	24	6,4 -
25	0,2 -	26	7,4 -
27	0,4 -	28	6,8 -
29	0,2 -	30	6,9 -
31	0,4 -	32	6,9 -
33	0,4 -	34	6,9 -
35	0,5 -	36	5,4 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
37	0,4 Mm.	38	5,8 Mm.
39	0,3 -	40	5,7 -
41	0,2 -	42	5,8 -

Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 33 Mm., die des Nervus ischiadicus 54 Mm.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,9 Mm.	2	9,7 Mm.
3	1,2 -	4	9,0 -
5	0,3 -	6	8,5 -
7	1,3 -	8	8,4 -
9	0,2 -	10	8,2 -
11	0,2 -	12	8,2 -
13	0,2 -	14	8,2 -
15	0,6 -	16	8,5 -
17	0,3 -	18	8,2 -
19	0,6 -	20	8,2 -
21	0,7 -	22	7,8 -
23	0,6 -	24	7,7 -
25	0,6 -	26	7,5 -
27	0,4 -	28	7,4 -
29	0,8 -	30	7,0 -
31	0,5 -	32	6,6 -
33	0,3 -	34	5,8 -
35	0,5 -	36	4,9 -
37	0,7 -	38	4,7 -
39	0,6 -	40	5,2 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
41	0,4 Mm.	42	3,7 Mm.
43	0,2 -	44	4,3 -
45	0,4 -	46	0,6 -

Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 31 Mm., die des Nervus ischiadicus 54 Mm.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,5 Mm.	2	9,1 Mm.
3	0,7 -	4	8,9 -
5	0,7 -	6	8,8 -
7	0,8 -	8	8,9 -
9	0,7 -	10	8,9 -
11	0,7 -	12	8,9 -
13	1,7 -	14	8,8 -
15	1,7 -	16	8,9 -
17	1,7 -	18	8,9 -
19	1,2 -	20	8,4 -
21	0,5 -	22	8,6 -
23	0,8 -	24	8,8 -
25	0,6 -	26	8,8 -
27	0,5 -	28	8,5 -
29	0,1 -	30	8,4 -
31	0,1 -	32	7,8 -
33	0,4 -	34	8,0 -
35	0,4 -	36	7,4 -
37	0,5 -	38	7,5 -
39	0,4 -	40	7,6 -
41	0,4 -	42	7,5 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
43	0,4 Mm.	44	7,1 Mm.
45	0,1 -	46	7,0 -
47	0,1 -	48	6,8 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 35 Mm., die des Nervus ischiadicus = 62 Mm.

B. Versuche, bei denen der Abstand der Electrodenpaare = 15 Mm. gesetzt war.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,1 Mm.	2	4,9 Mm.
3	1,5 -	4	4,6 -
5	1,5 -	6	4,6 -
7	1,5 -	8	2,1 -
9	1,5 -	10	2,1 -
11	1,5 -	12	2,8 -
13	1,8 -	14	2,1 -
15	0,5 -	16	1,7 -
17	0,9 -	18	1,0 -
19	1,0 -	20	3,4 -
21	0,6 -	22	2,9 -
23	0,5 -	24	4,1 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 38 Mm., die des Nervus ischiadicus = 70 Mm.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,5 Mm.	2	3,6 Mm.
3	0,6 -	4	4,9 -
5	0,3 -	6	4,0 -
7	0,8 -	8	4,5 -
9	0,5 -	10	4,2 -
11	1,2 -	12	4,2 -
13	1,4 -	14	5,9 -
15	0,8 -	16	4,9 -
17	1,2 -	18	4,2 -
19	0,8 -	20	5,8 -
21	1,2 -	22	4,5 -
23	0,2 -	24	2,2 -
25	0,3 -	26	3,3 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 36 Mm., die des Nervus ischiadicus = 63 Mm.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,2 Mm.	2	0,8 Mm.
3	0,4 -	4	0,6 -
5	0,3 -	6	2,2 -
7	0,3 -	8	3,5 -
9	0,7 -	10	4,1 -
11	0,5 -	12	3,7 -
13	1,0 -	14	4,6 -
15	0,3 -	16	3,8 -
17	0,5 -	18	2,4 -
19	0,2 -	20	2,1 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
21	0,6 Mm.	22	2,4 Mm.
23	0,4 -	24	2,0 -
25	0,2 -	26	0,2 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 36 Mm., die des Nervus ischiadicus = 63 Mm.

C. Versuche, bei denen der Abstand der Electrodenpaare = 25 Mm. gesetzt war.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,2 Mm.	2	0,2 Mm.
3	0,2 -	4	0,2 -
5	0,3 -	6	0,3 -
7	0,2 -	8	0,3 -
9	0,3 -	10	0,5 -
11	0,2 -	12	0,3 -
13	0,1 -	14	0,3 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 37 Mm., die des Nervus ischiadicus = 65 Mm.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,5 Mm.	2	0,5 Mm.
3	0,1 -	4	0,5 -
5	0,3 -	6	0,5 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
7	0,2 Mm.	8	0,5 Mm.
9	0,5 -	10	0,6 -
11	0,7 -	12	0,5 -
13	0,5 -	14	0,9 -
15	0,2 -	16	0,3 -
17	0,3 -	18	0,3 -
19	0,2 -	20	0,1 -
21	0,1 -	22	0,8 -
23	0,2 -	24	0,2 -

Es ist der andere Schenkel desselben Frosches, an dem Versuch I angestellt wurde.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,3 Mm.	2	1,3 Mm.
3	0,3 -	4	0,8 -
5	0,2 -	6	0,6 -
7	0,1 -	8	0,6 -
9	0,2 -	10	0,5 -
11	0,3 -	12	0,6 -
13	0,5 -	14	0,5 -
15	0,3 -	16	0,5 -
17	0,6 -	18	0,6 -
19	0,6 -	20	0,5 -
21	0,4 -	22	0,6 -
23	0,4 -	24	0,6 -
25	0,4 -	26	0,6 -
27	0,4 -	28	0,5 -
29	0,4 -	30	0,5 -

Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 38 Mm., die des Nervus ischiadicus 67 Mm.

Betrachtet man nun diese Versuche, so springt das von mir ausgesprochene Gesetz sofort mit der grössten Schärfe in die Augen, ohne dass es nothwendig wäre, Mittelwerthe aus den verschiedenen Versuchen zu nehmen. Denn während bei dem Abstande der Electrodenpaare von 5 Mm. der Zuckungszuwachs ganz ungeheuer gross ist und im Allgemeinen dem Zuckungsmaximum nahe kommt oder es erreicht, giebt die mittlere Entfernung bereits bedeutend geringere Grössen für den Zuwachs, welchen die Zuckung im electrotonischen Zustande erlangt. Gleichwohl bewegten sich letztere Grössen immer noch in mehreren Millimetern. Für den Abstand der Electrodenpaare von 25 Mm. indessen ist der Zuwachs nur noch spurweise vorhanden, indem derselbe nur merklich wird durch eine Verstärkung der Zuckung, die meistens nur einige Zehntheile eines Millimeters beträgt. Die hier mitgetheilten neun Versuche sind natürlich nur ein kleiner Theil derjenigen, welche von mir angestellt worden sind und nicht alle gegeben werden können, um das Werk nicht über Gebühr und ohne Nothwendigkeit auszudehnen. Doch halte ich es für angemessen, von jeder noch angestellten Versuchsreihe auch hier wenigstens den mittleren Zuckungszuwachs zu geben, wie er von mir aus den Zahlenreihen der Versuche berechnet worden ist.

Tabelle der mittleren Zuckungszuwächse für die verschiedenen Entfernungen der Electrodenpaare von einander.

Abstand von 5 Mm.	Abstand von 15 Mm.	Abstand von 25 Mm.
+ 7,4 Mm.	+ 3,1 Mm.	0,0 Mm.
+ 7,2 -	+ 2,3 -	+ 0,2 -
+ 5,1 -	+ 3,8 -	+ 0,1 -
+ 6,6 -	+ 2,0 -	+ 0,3 -
+ 9,1 -	+ 3,6 -	+ 0,7 -

Abstand von 5 Mm.	Abstand von 15 Mm.	Abstand von 25 Mm.
+ 6,0 Mm.	+ 2,1 Mm.	+ 0,9 Mm.
+ 6,8 -	+ 4,2 -	+ 1,3 -
+ 5,3 -	+ 3,3 -	+ 0,9 -
+ 7,3 -	+ 0,9 -	+ 0,2 -
+ 7,8 -	+ 0,4 -	+ 0,1 -
+ 7,5 -	+ 0,2 -	+ 1,0 -
+ 7,2 -	+ 1,5 -	

Ein jede solche Zahl also entspricht einer Versuchsreihe, wie ich sie oben mitgetheilt habe.

Eine abermalige Discussion der Controlversuche hier einzuflechten, dürfte überflüssig sein. Es genügt die Bemerkung, dass dieselben auch hier stets nach jedem einzelnen Versuche angestellt worden sind.

Ich verlasse deshalb hiermit diese so zeitraubende und mühsame Methode der Mittelwerthe und wende mich zu einer anderen Methode, um dasselbe Gesetz abermals zu constatiren.

4. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der Verschiebung der Reizelectroden.

Die Methode, zu welcher wir nunmehr übergehen, verschafft dem Experimentator unmittelbar und sofort an einem und demselben Präparate die Ueberzeugung, dass die Stärke des extrapolaren Katelectrotonus um so schwächer ist, je weiter derselbe von der intrapolaren Strecke entfernt liegt. Die specielle Methode besteht in Folgendem: Das Electrodenpaar des reizenden Stromes wollen wir wandern lassen, indem wir es sanft unter dem ausgespannten Nerven hinschieben. Da die Electroden festgeschraubt sind in ihrer Klemme, so können sie hierbei ihren Abstand von einander nicht abändern. Indem wir nun zwei gegebene Stellen des Ischiadicus in Be-

zug auf den Erregbarkeitszuwachs mit einander vergleichen wollen, ist es nothwendig, dass im Allgemeinen die Reizung des im natürlichen Zustande begriffenen Nerven an beiden Stellen gleich gross sein würde. Da sich das nun nicht vollkommen streng ausführen lässt, so suchte ich die Reizung so herzustellen, dass sie an der entfernten Stelle etwas stärker war, wenn der Nerv im natürlichen Zustande gereizt wurde. Sobald er in den electrotonischen übergeht, muss dann der schwächeren Reizung dennoch die stärkere Zuckung entsprechen, womit also das Gesetz wiederum a fortiori erwiesen ist. Die Reizung geschieht mit den Schliessungsinductionsschlägen. Der primäre Kreis wird mit dem electro-magnetischen Fallapparat in Quecksilber mit stets derselben Geschwindigkeit geschlossen.

Versuch I.

Der Abstand ist = 5 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,4 Mm.	2	9,9 Mm.
3	0,3 -	4	9,9 -
5	0,3 -	6	9,9 -
7	0,3 -	8	9,9 -

Nunmehr Verschiebung der Reizelectroden, sodass der Abstand = 25 Mm. wird. Fortsetzung des Versuches:

9	0,5 -	10	2,5 -
11	0,5 -	12	1,6 -
13	0,5 -	14	1,6 -
15	0,5 -	16	1,5 -
17	0,6 -	18	1,5 -
19	0,4 -	20	1,3 -

Hierauf wird durch Verschiebung der Reizelectroden der Abstand wieder = 5 Mm. gesetzt und mit dem Versuche fortgefahren:

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
21	0,5 Mm.	22	10,7 Mm.
23	0,3 -	24	10,6 -
25	0,3 -	26	10,7 -
27	1,0 -	28	10,8 -
29	1,0 -	30	10,9 -
31	0,4 -	32	10,9 -
33	0,4 -	34	11,0 -
35	0,4 -	36	11,0 -
37	1,0 -	38	11,1 -
39	0,4 -	40	11,0 -
41	1,0 -	42	11,0 -
43	1,1 -	44	11,2 -
45	0,4 -	46	10,8 -
47	0,0 -	48	10,9 -
49	0,2 -	50	11,0 -
51	0,1 -	52	10,5 -
53	0,5 -	54	9,6 -

Versuch II.

Sogleich beim Anfange war der Abstand der Electrodenpaare = 25 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,3 Mm.	2	0,3 Mm.
3	0,3 -	4	0,3 -
5	0,3 -	6	0,3 -
7	0,1 -	8	0,3 -
9	0,3 -	10	0,3 -
11	0,3 -	12	0,3 -
13	0,3 -	14	0,2 -

Nunmehr machte ich den Abstand der Electrodenpaare = 5 Mm. und setzte den Versuch fort:

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
15	0,3 Mm.	16	7,6 Mm.
17	0,2 -	18	7,6 -
19	0,2 -	20	7,6 -
21	0,1 -	22	7,6 -
23	0,1 -	24	7,6 -
25	0,5 -	26	7,5 -
27	0,1 -	28	7,5 -
29	0,2 -	30	7,4 -
31	0,2 -	32	7,5 -
33	0,1 -	34	7,3 -
35	0,1 -	36	7,3 -
37	0,1 -	38	7,3 -

Versuch III.

Der Abstand der Electrodenpaare betrug 25 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,6 Mm.	2	1,1 Mm.
3	0,6 -	4	0,6 -
5	0,6 -	6	0,6 -
7	0,6 -	8	0,6 -
9	0,6 -	10	0,4 -
11	0,4 -	12	0,3 -
13	0,5 -	14	0,6 -

Nunmehr machte ich den Abstand der Electrodenpaare = 7 Mm. und setzte den Versuch fort:

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
15	0,1 Mm.	16	8,2 Mm.
17	0,1 -	18	8,2 -
19	0,1 -	20	8,2 -
21	0,1 -	22	7,8 -
23	0,1 -	24	7,9 -
25	0,1 -	26	7,9 -
27	0,1 -	28	8,5 -
29	0,1 -	30	8,4 -
31	0,3 -	32	8,3 -
33	0,1 -	34	8,3 -
35	0,1 -	36	8,2 -
37	0,2 -	38	7,7 -

Versuch IV.

Der Abstand der Electrodenpaare betrug 25 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,5 Mm.	2	0,5 Mm.
3	0,3 -	4	1,0 -
5	0,4 -	6	0,3 -
7	0,4 -	8	0,9 -
9	0,3 -	10	1,0 -
11	0,5 -	12	0,5 -
13	0,5 -	14	1,2 -

Hiernach machte ich durch Verschiebung der Reizelectroden den Abstand = 5 Mm. und setzte den Versuch fort:

15	0,3 Mm.	16	8,2 Mm.
17	0,4 -	18	8,4 -
19	0,4 -	20	8,7 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
21	0,4 Mm.	22	8,7 Mm.
23	0,4 -	24	8,7 -
25	0,1 -	26	8,6 -
27	0,4 -	28	8,6 -
29	0,4 -	30	8,7 -
31	0,4 -	32	8,6 -
33	0,4 -	34	8,6 -
35	0,4 -	36	8,6 -
37	0,4 -	38	8,6 -
39	0,4 -	40	8,6 -
41	0,4 -	42	8,6 -
43	0,4 -	44	8,6 -

Versuch V.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,2 Mm.	2	0,6 Mm.
3	0,2 -	4	0,2 -
5	0,2 -	6	0,3 -
7	0,3 -	8	0,3 -
9	0,2 -	10	0,2 -
11	0,1 -	12	0,2 -
13	0,2 -	14	0,2 -
15	0,2 -	16	0,2 -
17	0,2 -	18	0,2 -

Während bisher der Abstand der Electrodenpaare = 25 Mm. gewesen war, machte ich denselben jetzt durch Verschiebung der Reizelectroden = 5 Mm. und setzte dann den Versuch fort:

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
19	0,2 Mm.	20	6,2 Mm.
21	0,1 -	22	6,8 -
23	0,5 -	24	7,9 -
25	0,5 -	26	8,1 -
27	0,5 -	28	8,1 -
29	0,2 -	30	8,2 -
31	0,5 -	32	8,3 -
33	0,5 -	34	8,3 -
35	0,5 -	36	8,6 -
37	0,5 -	38	8,5 -
39	0,5 -	40	8,5 -
41	0,5 -	42	8,5 -
34	0,0 -	44	8,5 -
45	0,0 -	46	8,5 -

Diese Beispiele, deren ich noch mehr besitze, dürften genügen, um abermals unser Gesetz darzuthun. Die Discussion der Controlversuche übergehe ich, da hier dasselbe gesagt werden müsste, was bereits vorher weitläufig auseinandergesetzt worden ist.

5. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der Verschiebung der dem polarisirenden Strome angehörenden Electroden.

Wenn man von der bis jetzt allerwärts anerkannten Voraussetzung ausgeht, dass die inneren Zustände der Nerven stets dieselben bleiben, mag man einen mehr peripherischen oder mehr centralen Theil derselben Faser untersuchen, so wird uns hierdurch offenbar eine sehr elegante Methode geboten, um die Zu- oder Abnahme der Stärke des Katelectro-

tonus darzuthun, wie dieselbe durch die Nähe oder Ferne der intrapolaren Strecke bedingt wird. Denn wir brauchen nur den polarisirenden Strom einmal nah und einmal fern von dem Reize den Nerven durchfliessen zu lassen, um die Zuckungszuwächse, die durch Reizung an stets derselben Stelle ausgelöst werden, in beiden Fällen mit einander zu vergleichen. Ich bin nun allerdings — und das muss hier hervorgehoben werden — der Ansicht, dass die inneren Zustände der Nerven von Querschnitt zu Querschnitt stets variiren, oder mit anderen Worten, dass der Nerv von seiner Ausbreitung bis zum Centralorgan hin sich in seinen Molecularzuständen stetig ändere. Leider ist eine dies erweisende Untersuchung von mir noch nicht hinreichend abgeschlossen, sodass dieselbe hier nicht abgehandelt werden konnte. Aus diesen Gründen nun kann aber der Methode, welche wir nunmehr angreifen, der Vorwurf gemacht werden, dass sie in strengem Sinne nicht beweisend sei, weil ja möglicherweise die Stärke des durch denselben Strom von verschiedenen Stellen aus hervorgebrachten Electrotonus der Nerven verschieden sei. In diesem Falle könnte ja die auf den Nerven als Abscisse bezogene Curve der Zuckungszuwächse eine der Abscisse parallele Gerade darstellen, und der dem Reize nähere polarisirende Strom doch einen anderen Zuwachs bedingen als der entferntere. Das Schlimmste an diesem Einwande ist nun, dass ihm etwas Wahres zu Grunde liegt, das mich seiner Zeit nicht wenig in Erstaunen gesetzt hat. Als ich nämlich nach dieser jetzt besprochenen Methode zu experimentiren begann, den Electrodenabstand = 25 Mm. gesetzt hatte, während der constante aufsteigende Strom unmittelbar, wie bisher, durch eine tiefere Stelle des Nervus ischiadicus floss und ihm, laut Aussage des Multiplicators, dieselbe Stärke wie sonst zukam, verschob ich sodann das Electrodenpaar des polarisirenden Stromes gegen das reizende, sodass ihr gegenseitiger Abstand nun = 5 Mm. wurde. Aber wie erstaunte ich, als auch jetzt keine deutliche Verstärkung der Zuckung auftreten wollte. Gleichwohl bezeugte der Multiplicator, dass der Stromstärke die alte Grösse zukomme. Bisher war jedesmal bei dem Abstande der Elec-

trodenpaare von 5—10 Mm. die Erhöhung der Erregbarkeit in so auffallender Weise so unfehlbar sicher, so ganz ausnahmslos in fast zahllosen Versuchen aufgetreten. Jetzt plötzlich scheint derselbe Versuch zu versagen. Der einzige Unterschied, der den jetzigen Versuch von den früheren unterscheidet, besteht darin, dass der polarisirende Strom nunmehr durch eine Stelle fliesst, welche etwa dem Abgange der Oberschenkeläste entspricht; der reizende Strom durchfliesst zwar auch den plexus sacralis, man vermag aber auch von hier den Zuckungszuwachs zu beobachten, wenn man nur dem polarisirenden Strome die ausreichende Stärke giebt und ihn unterhalb des Abganges der Oberschenkeläste auf den Nervus ischiadicus einwirken lässt. Man kann sich wohl denken, dass ich anfangs an die sonderbare Ausnahme nicht glauben wollte, alles Mögliche revidirte, was sich auf die Anordnung des Versuches bezog; aber ich brauchte ja nur den Nerven um einige Millimeter auf den Electroden des constanten Stromes zu verschieben — augenblicklich war die mächtige Wirkung des Stromes wieder vorhanden. Nichts zeigt wohl schöner und evidenter, dass wir es hier nicht mit einem Spiel von Täuschungen bisher zu thun hatten, dem die erhaltenen Resultate zugeschrieben werden könnten. Mehremal habe ich nun ferner diesen negativen Versuch mit gleichem Erfolge wiederholt. Hierauf aber richtete ich natürlich meine Aufmerksamkeit darauf, ob vielleicht der ganze Nerv über dem Abgange der Oberschenkeläste unzugänglich sei jener electrotonisirenden Wirkung des Stromes. Das ist indessen nicht der Fall, sondern sobald man jene Stelle am Abgange der Oberschenkeläste passirt hat, beginnt auch wieder die Wirkung des Stromes hervorzutreten; zwar scheint dieselbe gewöhnlich nicht so stark, als wenn der Strom tiefer durch den Ischiadicus fliesst, ist aber gleichwohl vollkommen deutlich. Wenn ich nun jene wunderbare Thatsache immer und immer wieder überlegte, der zufolge eine gegebene Stelle des Nerven unempfänglich sein soll für den electrotonischen Zustand, so wäre ich freilich geneigt gewesen zu glauben, dass ich hier irgend einem Irrthume verfallen sei, wenn nicht jene Stelle

eben immer eine bestimmte anatomische Lage am Ischiadicus gehabt hätte und sonderbarer Weise ferner mit derjenigen zusammenzufallen schien, wo meine Curven der Erregbarkeit so oft eine gegen die Abscisse gekehrte Knickung dargeboten hatten. Ferner aber musste mir natürlich nun jene ebenso räthselhafte Bemerkung du Bois-Reymond's auffallen, welcher angiebt, dass der Nerv unter Umständen versage, indem trotz des erregenden Stromes die electrotonischen Phasen am Multiplicator nicht erscheinen. Auch du Bois-Reymond kannte keine der näheren Bedingungen, von welchen diese Erscheinungen abhängen, und schreibt sie eigenthümlichen Anwandlungen zu, welche der Nerv zu Zeiten erfahren kann. Man glaube nicht, dass hier vielleicht die angewandten Stromstärken zufällig zu schwach waren; denn der Multiplicator controlirte ja ihre Grösse. Ausserdem mache ich mich anheischig und habe dies oft genug gethan, mit einem 50 mal schwächeren polarisirenden Strome an den tieferen Theilen des Nervus ischiadicus und bei jedem Präparate den Katelectrotonus zu demonstriren. Hier an diesen tieferen Theilen habe ich niemals solche „Anwandlungen" wahrgenommen, sondern nur an jener Stelle. Was aber mein Befremden noch mehr vermehrte, war, dass ich später, als ich genauer jene ausgezeichnete Stelle untersuchen wollte, die Erscheinung nicht mehr deutlich darzustellen vermochte, weshalb ich sie vor der Hand auf sich beruhen lassen musste. Wer mir einen Vorwurf daraus machen will, Thatsachen von solcher Bedeutung nicht mit allen Anstrengungen weiter verfolgt zu haben, der vergisst, welche unsägliche Arbeit in diesem Werke niedergelegt ist, in welchem es mir vorerst darauf ankommen musste, den allgemeinen fundamentalen Principien des Gebietes eine sichere Basis zu schaffen. Später wird es dann nicht mehr so schwer sein, solchen Einzelheiten, welche gleichwohl von der tiefsten Wichtigkeit sein können, genauer nachzugehen.

Freilich scheint es nun, als ob die von uns vorgeschlagene Methode zu keinem strengen Resultate zu führen vermöchte. Soll diese Methode allein für sich die Abnahme des katelectrotonischen Zuwachses mit der Entfernung von

der negativen Electrode darthun, so wird sie freilich den Beweis schuldig bleiben müssen. Wenn wir aber die Resultate der vorigen Versuche anwenden, so vermag auch sie beizutragen, unser Gesetz noch ferner zu bestätigen. Ich wählte gewöhnlich zur Anlegung der Electroden des constanten Stromes zwei Stellen, welche unter dem Abgange der Oberschenkeläste gelegen waren und möglichst weit von einander abstanden. Es ist deshalb vortheilhaft, sich zu diesen Versuchen möglichst grosse Frösche zu verschaffen, was ja in unserer Gegend nicht mit besonderen Schwierigkeiten verknüpft ist. Wenn wir dann von der fernen polarisirten Strecke aus keine Veränderung der Erregbarkeit mehr hervorzubringen vermögen, während dies von der nahen aus sehr leicht und kräftig geschieht, so kann man dies nicht daraus ableiten, dass jene ferne Stelle eine für den electrotonischen Zustand unempfängliche sei. Denn es ist dieselbe Stelle, an welcher wir vorher den grösstmöglichen Zuckungszuwachs hervorbrachten, wenn der Reiz nur der intrapolaren Strecke möglichst nahe angebracht worden war. Ausserdem habe ich das nahe Electrodenpaar auch über dem Abgange der Oberschenkeläste angelegt und dennoch das Gesetz bestätigen können, obschon hier der Nerv im Allgemeinen eine geringere Empfänglichkeit für den Electrotonus hat. Somit scheint mir denn auch diese Methode zulässig sein zu dürfen.

Versuch.

Der Abstand der Electrodenpaare betrug 25 Mm. Die Reizelectroden liegen dem plexus sacralis an.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,3 Mm.	2	5,6 Mm.
3	0,4 -	4	3,4 -
5	0,2 -	6	2,5 -
7	0,2 -	8	4,9 -

Zahl der Zuckung.	Grösse der Zuckung bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Grösse der Zuckung bei polarisirten Nerven.
9	0,5 Mm.	10	4,7 Mm.
11	0,2 -	12	4,7 -
13	0,5 -	14	5,2 -

Nunmehr mache ich durch Verschiebung der Electroden des constanten Stromes den Abstand der Electrodenpaare = 8 Mm. und setzte den Versuch fort:

15	0,5 Mm.	16	9,1 Mm.
17	0,4 -	18	9,0 -
19	0,4 -	20	9,2 -
21	0,5 -	22	9,2 -
23	0,4 -	24	9,2 -
25	0,4 -	26	9,2 -
27	0,5 -	28	9,2 -
29	0,1 -	30	9,2 -

Darauf wurde abermals der Abstand = 25 Mm. gesetzt:

31	0,5 Mm.	32	3,8 Mm.
33	0,4 -	34	0,4 -
35	0,4 -	36	1,0 -
37	0,6 -	38	1,4 -
39	0,3 -	40	0,9 -

Hierauf wurde abermals der Abstand wieder = 8 Mm. gemacht:

41	0,5 Mm	42	8,4 Mm.
43	0,6 -	44	8,1 -
45	0,5 -	46	8,5 -
47	0,5 -	48	7,7 -
49	0,5 -	50	7,0 -
51	0,4 -	52	6,8 -

Wir sind somit auch durch diese Methode zu demselben Gesetze geführt worden.

Endlich aber wenden wir uns nun zur Darlegung desselben Gesetzes mit Hülfe einer neuen Methode.

6. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der chemischen Reizung.

Es war unzweifelhaft wünschenswerth, den Nachweis für unser Gesetz auch mit Hülfe chemischer Reizung zu führen, umsomehr, als bei dieser eine ganze Reihe von Bedenken fortfallen, welche man gegen die mit electrischer Reizung ausgeführten Versuche geltend machen könnte. Hier kann von Stromesschleifen, welche von dem polarisirenden in den reizenden Stromkreis einbrechen, keine Rede mehr sein; hier fallen alle Bedenken fort, welche darauf hinzielen, die Ungleichheit der electrischen Reizung als Ursache der ungleichen Zuckungen anzusprechen, wegen der Einmischung der vom Electrotonus herrührenden Ströme. Zum Glücke nun ist es mir gelungen, die Methode chemischer Reizung so herzustellen, dass ihre Resultate an Schärfe nichts zu wünschen übrig lassen, selbst hier, wo es sich um mehr handelt, als um den blossen Nachweis des Vorhandenseins des aufsteigenden Katelectrotonus.

Das nächste, was ich nun vornahm, bestand darin, nochmals einfach durch zahlreiche Versuche die Erhöhung der Erregbarkeit mit Hülfe der Reizung durch concentrirte Kochsalzlösung darzuthun, während der Abstand des Tropfens von den Electroden des constanten Stromes variirt wurde. Diese Methode entspricht also genau der der Mittelwerthe und kann durch keine andere ersetzt werden, weil wir an ein und demselben Schenkel die chemische Reizung nicht willkürlich nach einander auf verschiedenen Strecken des Nerven anwenden können.

Der Versuch wurde nun folgendermaassen angestellt. Das Electrodenpaar des constanten Stromes liegt wieder dem Nervus ischiadicus unmittelbar über dem Musculus gastro-

knemius an, sodass die positive Electrode von dem Ansatze desselben um 5—8 Mm. absteht. Wenn nun die Aetzung mit Hülfe des chemischen Reizes so angestellt wird, dass derselbe von der negativen Electrode um etwa 5—6 Mm. entfernt ist, so tritt, wie wir bereits oben auseinandergesetzt haben, unfehlbar ein ganz gewaltiger Tetanus ein, wenn der Strom in aufsteigender Richtung nach etwa 5—8 Minuten geschlossen wird, obwohl vor Schliessung des Stromes dieselbe Reizung ohne jede sichtbare Wirkung war, und derselbe Strom in absteigender Richtung ebenfalls ohne Reaction von Seiten des Muskels ertragen wird. Dieses Resultat ist ganz unfehlbar und durchaus ausnahmslos. Macht man aber den Abstand der negativen Electrode von der geätzten Stelle gleich 10 Mm., wobei nämlich diese Nervenlänge als von der Aetzung nicht berührt betrachtet wird, so wird nun öfter nach 5—10 Minuten eine geringe Erregung des Muskels bereits durch die Kochsalzlösung ohne Beihülfe des Stromes zu Stande kommen, d. h. es werden nun einzelne schwache Zuckungen am Muskel bemerkbar in Uebereinstimmung mit dem von mir aufgestellten Gesetze über die Zunahme der Stärke der Reizung mit der Länge der leitenden Strecke. Schliesst man nun bei einer solchen Anordnung des Versuches die Kette, während dem Strome die frühere Stärke zukommt, in derselben Zeit nach Application des Kochsalztropfens, so ist jene gewaltige Wirkung desselben, welche den Muskel in den mächtigsten Tetanus verfallen liess, nicht mehr vorhanden. Es lässt sich zwar gewöhnlich die Erhöhung der Erregbarkeit nachweisen. Denn wenn kein Tetanus vorhanden ist, erscheint ein solcher, wenn auch von äusserster Schwäche. Ist ein solcher bereits zu bemerken, so wird er um ein Geringes durch die Schliessung des aufsteigenden Stromes verstärkt. Wählt man aber eine Distanz für den Abstand der Aetzung von der intrapolaren Strecke, welche 20 Mm. überschreitet, so hat bei der gewählten Stromstärke nunmehr alle Wirkung derselben aufgehört und lässt sich zu keiner Zeit nach Application der Lösung demonstriren. Hierdurch wird abermals der Beweis geliefert, dass wir das Weiterkriechen

der Lösung durch Diffusion nicht zu befürchten haben, wo es sich um locale Reizung innerhalb gewisser grösserer Strekken handelt.

Es ist also auch mit Hülfe der chemischen Reizung nunmehr der Beweis der Abnahme jenes veränderten Molecularzustandes mit seiner Entfernung von der negativen Electrode nach meiner Methode der Mittelwerthe gestellt worden.

Wenden wir uns deshalb nunmehr zur Nachweisung desselben Gesetzes nach der andern hier noch möglichen Methode, bei welcher nicht die gereizte Stelle ihren Abstand von der intrapolaren ändert, sondern die letztere jener bald genähert, bald von ihr entfernt wird. Wir haben diese Methode bereits bei der electrischen Reizung angewandt und dort auch bereits diejenigen Punkte discutirt, welche gegen ihre Zulässigkeit sprechen könnten. Hier sind diese Bedenken um so unangenehmer, als sie eine Methode behaften, deren Ergebnisse sonst zu äusserst schlagenden und bestimmten Resultaten an sich führen. Ich habe mir deshalb ganz besondere Mühe genommen, hier durch zahlreiche Controlversuche jene soeben angeregten Bedenken zu widerlegen. Dieselben fussten bekanntlich auf der Voraussetzung, dass die Stärke des erregten Electrotonus ceteris paribus von dem bestimmten anatomischen Orte abzuhängen scheint, von welchem aus derselbe eingeleitet wird, weshalb also mit der Annäherung der intrapolaren Strecke an die erregte und die hiermit herbeigeführte Steigerung der Wirkung des constanten Stromes nicht so unmittelbar, wie man es wünschen möchte, darauf geschlossen werden kann, dass jene Vermehrung der Stromeswirkung in der That in seiner Annäherung und in nur dieser begründet sei.

Abermals wende ich mich deshalb zunächst zu einer der Methode der Mittelwerthe ähnlichen oder gleichen, welche dahin abzielt, auszumitteln, welches Gesetz jene Abhängigkeit der Stärke des Electrotonus von dem anatomischen Orte der Nervenfaser beherrschen möge. Während also der Abstand der gereizten Stelle von der intrapolaren stets 5—7 Mm. betrug, wurde in den verschiedenen Versuchsreihen nur die

Digitized by Google

Entfernung des Stromes vom Muskel variirt, welche ich einmal = 7 Mm., dann = 27—30 Mm. und endlich = 40—45 Mm. setzte. Bei den Abständen von 7 Mm. und 20 Mm. trat unfehlbar in allen Versuchen der kräftigste Tetanus ein. Bei denjenigen aber von 40—45 Mm. versagte die Wirkung einigemal und war im Allgemeinen nicht mit solcher Schärfe, mit solcher nie fehlenden Energie ausgesprochen, wie bei jenen dem Muskel näheren Abständen. Ob diese geringere Stärke der Wirkungen in der wegen Zunahme des Querschnittes herbeigeführten Abnahme der Stromesdichte ihren Grund habe, oder in dem raschen Absterben des Nerven von dem blossliegenden Querschnitte aus, oder in einem andern Umstande, weiss ich nicht recht zu sagen. Wahrscheinlich ist es mir, dass die beiden ersten scheinbar so einladenden, so natürlichen Erklärungen nicht den eigentlichen Grund treffen. Denn was den ersten betrifft, welcher sich auf die Abnahme der Stromesdichte bezieht, so muss man gegen ihn einwenden, dass die Erhöhung der Erregbarkeit von den tieferen Stellen des Ischiadicus aus mit viel schwächeren als den angewandten Strömen noch mit ausserordentlicher Kraft hervortrete. Was aber das Absterben der Nerven vom Querschnitte aus anlangt, so kann man ja einen Querschnitt über der gereizten Stelle anlegen, während der constante Strom eine dem Musculus gastroknemius nahe Stelle durchfliesst. Wenn 5 Minuten nach der Application der Lösung verstrichen sind, wird jede Schliessung des aufsteigenden Stromes den mächtigsten Tetanus hervorrufen. Sei dem nun wie ihm wolle — jedenfalls reicht das erhaltene Resultat aus, um den gegen unsere Methode erhobenen Bedenken entgegentreten zu können. Denn wir appliciren die ätzende Lösung also an eine Stelle des plexus sacralis und lassen dann den constanten Strom bald in unmittelbarer Nähe der geätzten, bald in grosser Ferne von derselben durch den Nerven fliessen, während der Muskel mit der Spitze des Myographions auf die langsam vor ihr fort bewegte Glastafel seine Erhebungshöhe, also die Stärke seines Tetanus aufschreibt. Die specielle Methode

nun, mit Hülfe deren die Versuche ausgeführt wurden, war folgende.

Dem Nerven N (s. unsere Fig. 13) werden zwei Eiweiss-electrodenpaare ab und cd angelegt, deren Distanz bc = 20 Mm. gesetzt ist. Die positive Electrode a ist vom Musculus gastroknemius m um 7 Mm. entfernt. Die von der Electrodenvorrichtung kommenden Drähte führen nun nach einem Pohl-schen Commutator C_1, aus welchem das Kreuz ausgenommen worden ist. Es führt also die Electrode a durch den Draht a′ zum Quecksilbernäpfchen α, die Electrode b aber durch den Draht b′ zum Quecksilbernäpfchen β. Ferner steht die positive Electrode c durch den Draht c′ mit dem Quecksilbernäpfchen γ in leitender Verbindung, die Electrode d durch den Draht d′ mit dem Näpfchen δ. Die beiden Pole $p_1 p_2$ des Commutators C_1 stehen nun durch die Drähte $x_1 x_2$ mit dem Commutator C_2 in leitender Verbindung, und zwar x_1 mit der Klemme l, x_2 mit der Klemme n. In die Leitung x_2 ist der Multiplicator M mit ganzer Länge eingeschaltet. Die beiden Pole $\pi_1 \pi_2$ des Pohl'schen Commutators C_2 führen nun durch die Drähte $y_1 y_2$ zu den Klemmen $\varrho_1 \varrho_2$ des Rheochords ($\varrho_1 \varrho_2 \varrho_3 \varrho_4$). Diese Klemmen ϱ_1 und ϱ_2 stehen nun durch die Drähte z_1 und z_2 ausserdem noch direct mit der Grove'schen Kette K in leitender Verbindung. Innerhalb der Leitung des Drahtes z_2 ist eine Unterbrechung u_2 angebracht, die innerhalb Quecksilbers mit amalgamirten Hacken wieder geschlossen werden kann. Sobald also hier offen ist, wird in keinem der Leitungsdrähte ein Strom sein. Eine zweite, ähnliche Unterbrechungsstelle u_1 ist in der Drahtleitung x_1 angebracht; wenn hier nicht geschlossen ist, kann durch Nerv und Multiplicator zwar kein Strom gehen, obschon nach Schliessung in z_1 der Rheochord durchflossen wird. Beginnen wir nun den Versuch.

Der Kochsalztropfen ist bei T dem Nerven applicirt. Der Abstand dT beträgt 5 Mm. Wir schliessen den Kettenstrom in z_1 bei u_2 und lassen dann, während noch x_1 unterbrochen ist, den noch ruhenden Muskel die Abscisse ziehen. Nach einiger Zeit beginnt ein erst schwacher Tetanus loszubrechen. Nunmehr geht man ans Werk, d. h. es wird wäh-

rend der Muskel auf die langsam bewegte Fläche zeichnet plötzlich nun auch noch bei u_1 geschlossen. Der Strom ergiesst sich nun durch die Strecke ab und nur durch diese. Der Weg, den er hierbei einschlägt, ist folgender: er kommt von P aus der Kette K, geht über u_2 nach ϱ_2 und spaltet sich hier in zwei Arme, von welchen der eine nach dem Experimentirkreise geht und nachher weiter verfolgt werden soll, während der andere durch N sofort über ϱ_1 zur Kette zurückkehrt. Der Zweigstrom aber, welcher aus ϱ_2 entspringt, fliesst nun durch den Draht y_2 nach dem Pole π_2 des Pohlschen Commutators C_2. Liegt die Wippe w_2 des Commutators C_2 nach links, so tritt der Strom sofort durch Klemme n aus und geht durch den Draht x_2 nach dem Pole p_2 des Commutators C_1. Liegt dessen Wippe w_1 noch rechts, so ist der Kreis $cd\gamma\delta$ isolirt von den Stromleitungen. Es tritt also der Strom sofort durch Klemme α aus dem Commutator C_1 aus, geht durch Draht a^1 nach a zum Nerven, verlässt diesen bei b und kehrt durch Draht b^1 zur Klemme β des Commutators C_1 zurück. Von Pol p_1 fliesst der Strom nun über u_1 durch Draht x_1 nach der Klemme l des Commutators C_2 und verlässt diesen wieder aus Pol π_1, um sich dann durch Draht y_1 zur Klemme ϱ_1 des Rheochords zu begeben und sich dem durch den Draht z_1 nach der Kette zurückfliessenden Hauptstrome beizugesellen. Der Erfolg der Schliessung dieses Stromes durch die Nervenstrecke ab ist also, dass nur Schliessungszuckung eintritt und kein Tetanus. Würde aber bc kleiner, z. B. = 5 Mm., gesetzt worden sein, so wäre ein schwacher Tetanus entstanden. Um nun sofort nachzuweisen, dass dieser Tetanus nicht in einer Inconstanz des Stromes oder in der ihm zukommenden erregenden Eigenschaft seinen Grund habe, legen wir dann die Wippe w_2 des Commutators C_2 um. Der Strom ist augenblicklich in ab umgekehrt, fliesst also absteigend. Er ruft nunmehr keinen Tetanus hervor, welcher aber augenblicklich wieder da ist, sobald die Wippe w_2 abermals nach links umgelegt wird. Wenn nun, während Wippe w_2 nach links liegt, plötzlich Wippe w_1 vom Commutator C_1 nach links umgelegt wird, wodurch sich also

plötzlich der Strom statt durch ab durch cd ergiesst, und zwar in aufsteigender Richtung, so bricht augenblicklich ein heftiger Tetanus los. Sobald nun Wippe w_2 nach rechts umgelegt wird, der Strom in cd also absteigend fliesst, verschwindet der Tetanus sogleich, welcher ebenso augenblicklich wieder erscheint, wenn durch abermalige Umlagerung der Wippe w_2 nach links der Strom aufsteigend durch Strecke cd geführt wird. Legt man dann Wippe w_1 bald rechts, bald links immer bei demselben Versuche, wodurch also der Strom bald durch die ferne, bald durch die nahe Strecke in aufsteigender Richtung fliesst — Wippe w_2 liegt nach links — so wechselt dem entsprechend schwacher mit starkem Tetanus ab. Um dem Leser nun eine genaue Vorstellung von der Grösse der Unterschiede zu geben, verweisen wir zunächst auf Fig. 10. Hier sieht man also hohe Gipfel mit niederen abwechseln. Die hohen Gipfel entsprechen dem Tetanus, welcher von der nahen Stelle aus hervorgebracht wurde, die niedrigen demjenigen der entfernten. Die Distanz bc (s. Fig. 13) war bei diesem Versuche = 4 Mm. Die Thäler entsprechen derjenigen Zeit, wo der Muskel zeichnete, während gar kein Strom floss und absolute Muskelruhe herrschte. Die Curve ist vom Kupferstecher unmittelbar nach dem Abklatsche von dem Myographion gestochen worden, sodass jeder Punkt absolut naturgetreu ist. Man sehe ferner noch Fig. 11, welche etwas complicirt ist, weil bei ihr der Versuch in naher und ferner Strecke sowohl mit dem auf- wie mit dem absteigenden Strome angestellt wurde. Der Curventheil $a_1 b_1$ entspricht dem Tetanus, welcher von cd (Fig. 13) ausgelöst wurde, der Curventheil $c_1 d_1$ demjenigen nach der Oeffnung des aufsteigenden Stromes bei u_1 (Fig. 13), wo also gar kein Strom den Nerven durchfloss. Wippe w_2 wurde nun nach rechts gelegt und bei u_1 wieder geschlossen, wodurch also der Muskel einen langen Strich aufschreibt bei d_1; während $e_1 f_1$ geschrieben wird, fliesst also der Strom durch die nahe Strecke in absteigender Richtung. Als die zeichnende Spitze bei f_1 angekommen war, wurden plötzlich beide Wippen umgelegt, w_1 nach rechts, w_2 nach links, womit denn auch ein schwacher Tetanus, der sehr un-

Digitized by Google

stätig war, entstand. Bei h_1 unterbrach ich in u_1 wiederum, womit die Spitze herabfiel, weil der Tetanus aufhörte. Es entspricht i_1k_1 also wieder der Zeit, wo gar kein Strom floss; k_1l_1 aber der Zeit, wo durch die ferne Strecke der Strom in absteigender Richtung floss. Hierauf wurde dieselbe Reihenfolge wieder von vorn bei demselben Versuche angefangen.

Man sehe endlich noch Fig. 12. Der Muskel hat bereits vor Schliessung des constanten Stromes etwas Tetanus, dem der Curventheil ab entspricht. Als die Spitze bei b angekommen war, schloss ich den Strom durch die nahe Strecke zu aufsteigender Richtung. Dem starken, hierdurch erzeugten Tetanus entspricht der Curventheil cd. Plötzlich legte ich die eine Wippe w_1 um, sodass nun der Strom durch die ferne Strecke ging, womit auch der Tetanus um etwas nachliess. Während nun langsam die Schreibtafel vor der zeichnenden Spitze verschoben wurde, liess ich den Strom bald durch die nahe, bald durch die ferne Strecke gehen, womit dem entsprechend, wie man sieht, der Tetanus zu- und abnahm. Als die Spitze bei e angekommen war, unterbrach ich den Strom; die Spitze fällt herab und zeichnet nun das Curvenstückchen fg. Nun schloss ich den Strom wieder zu absteigender Richtung durch die nahe Strecke; es entstand starke Schliessungszuckung; dann war der Muskel ganz ruhig und zog den Curventheil gh. Ich unterbrach bei h abermals den Strom; es entsteht Oeffnungszuckung; dann schreibt der Muskel, während also gar kein Strom fliesst, den Curventheil hi. Dies wird nochmals wiederholt. Es entspricht ik dem Curventheil, während dessen Zeichnung der Strom durch die ferne Strecke absteigend floss; kl aber demjenigen, während dessen wiederum kein Strom vorhanden war. Als die Spitze bei l angekommen war, schloss ich wiederum den Strom in aufsteigender Richtung mit erfolgendem Tetanus und liess denselben dann durch Umlegen der Wippe w_1 bald durch die nahe, bald durch die ferne Strecke gehen, wodurch der Tetanus bald anschwillt, bald abnimmt, wie die Figur zeigt.

Ehe wir diesen Gegenstand verlassen, haben wir noch ein Bedenken zu beseitigen, welches aus der möglicherweise

verschiedenen Stromesdichte abgeleitet werden könnte, die in beiden intrapolaren Strecken geherrscht hat. Dieser Einwand hat hier ein ganz besonderes Gewicht, weil ja die Electroden bei constanter Spannweite nicht am Nerven verschoben wurden, um eine der gereizten Stellen bald nahe, bald ferne zu polarisiren, sondern weil wir zwei Electrodenpaare von gleicher Spannweite ein für allemal dem Nerven angelegt hatten. Da nun diese Eiweisselectroden sammt den mit concentrirter Kupfervitriollösung gefüllten Heberröhren einen ganz bedeutenden Widerstand darbieten, welcher gegen den des Nerven entschieden in Betracht kommt, so lässt sich bereits a priori vermuthen, dass der Widerstand dieser zur Vermeidung der galvanischen Polarisation eingeführten Leitungen bei dem einen Electrodenpaar nicht genau so sein werde, wie bei dem anderen. Aus diesem Grunde hat man vor Beginn dieser Versuche erst ganz genau zu erforschen, welchem der beiden Electrodenpaare der grössere Widerstand zukomme. Nachdem dies ermittelt ist, ordnet man für die anzustellenden Versuche die Electrodenpaare so, dass dem der gereizten Stelle näheren der grössere Widerstandswerth zukommt, weil wir dann aus der stärkeren Wirkung eines schwächeren nahen Stromes und der schwächeren eines stärkeren entfernten Stromes a fortiori schliessen dürfen, dass es die Nähe des Stromes ist, die seine grössere Wirksamkeit bedingt. Hierbei hat man aber noch Eines zu erwägen. Oft nämlich unterscheiden sich die Widerstände der Electrodenpaare, da sie mit äusserster Sorgfalt möglichst congruent hergestellt wurden und aus denselben Flüssigkeiten gebildet sind, nur sehr wenig, in welchem Falle geringfügige Störungen ausreichen, das Electrodenpaar geringeren Widerstandes zu dem grösseren Widerstandes zu machen. Es ist deshalb durchaus nothwendig, dass man am Ende eines jeden einzelnen Versuches den Strom bald durch die eine, bald durch die andere Strecke durch Umlegen der Wippe w_1 gehen lässt und für jede Lage der Wippe dann die constante Ablenkung der Nadel bestimmt. Sobald die Nadel, durch den entfernten Strom abgelenkt, sich auf einem bestimmten Theil-

grade constant eingestellt hat, legt man mit grosser Geschwindigkeit die Wippe w_1 um, führt also den Strom durch die nahe Strecke. Nur wenn die Nadel jetzt um ein Geringes zurückweicht und auch nachher nicht wieder denselben Grad constanter Ablenkung erreicht, ist der Versuch als beweisend anzusehen. Hier bemerke ich indessen, dass bei einigermaassen bedeutendem Abstande der entfernten Electroden der durch diese fliessende Strom beträchtlich stärker sein kann, ohne dass darum das Gesetz aufhört, auf das Deutlichste herauszutreten, was natürlich in der grossen Steilheit unserer Curve begründet sein muss.

So scheint es mir denn, als dürften wir nunmehr das von mir aufgestellte Gesetz als ein vollkommen zweifelloses anerkennen, dem zufolge die Stärke jenes wunderbaren, veränderten Zustandes, welchen der aufsteigende Strom vor sich erzeugt, mit der Entfernung von der negativen Electrode rasch abnimmt und schliesslich verschwindet.

Kapitel III.

Untersuchung der Abhängigkeit des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Stärke des constanten electrotonisirenden Stromes.

Wie ich bereits wiederholt hervorgehoben habe, bietet die Untersuchung des Zuckungszuwachses, welcher bei Reizung einer aufsteigend katelectrotonisirten Stelle hervorgebracht wird, eigenthümliche Schwierigkeiten. Betrachtet man den so bemerkbaren Zuckungszuwachs als Function der Stromstärke, so ersahen wir bereits und werde dies noch genauer darthun, dass diese Curve bei einem gewissen Stromwerthe ein Maximum hat und bei einem anderen die Abscisse schneidet. Wer bürgt uns nun dafür, dass unsere fragliche Curve nicht mehrere solcher Maxima habe, ja vielleicht mehrmals die

Abscisse schneide, weil sie gleichsam eine periodische Function darstellt? Alle bis jetzt angewandten Methoden sind offenbar unvermögend, dieser Frage nahe zu kommen, weil man sich hierbei jedes messenden Apparates entschlagen hat.

Die Methode, deren ich mich bei diesen Versuchen bediente, war nun folgende. Die Stromstärken selbst wollte ich mit Hülfe des Rheochords abstufen, indem ich so den Strom von Null in infinitum anschwellen liess und dabei stetig den Zuckungszuwachs überwachte. Gleichzeitig aber ist es nothwendig, den Multiplicator in den Kreis eingeschaltet zu haben, um ihn fortwährend als Zeuge der gewählten Stromstärken befragen zu können. Als Reizmittel bedienen wir uns hier fortwährend des Schliessungsinductionsschlages in aufsteigender Richtung; derselbe wird durch Schliessung des primären Kreises mit Hülfe des electro-magnetischen Fallapparates hervorgebracht.

Zunächst nun versuchte ich, ob nicht bereits mit Hülfe des Nervenstromes sich die Erregbarkeit verändern lasse; in der That gelang es, ganz entschieden bereits hierdurch katelectrotonischen Zustand hervorzubringen, wodurch denn dem Leser der Beweis geliefert ist, dass die Methode, welche durch die veränderte Erregbarkeit den inneren Molecularänderungen nachspürt, vollkommen an Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit dem „grossen Multiplicator für den Nervenstrom" gewachsen ist. Die specielle Ausführung des Versuches geschah nun so, dass dem auf seine Erregbarkeit zu prüfenden, horizontal ausgespannten Nervus ischiadicus ein zweiter Ischiadicus mit Quer- und Längsschnitt so angelegt wurde, dass der Nervenstrom als polarisirender Strom den zu untersuchenden Ischiadicus in einer Länge von 18 Mm. durchfloss. Um den Nervenstrom nun abwechselnd durch den Ischiadicus schliessen und öffnen zu können, wurden die sich berührenden Längsschnitte mit einer mechanischen Vorrichtung einander bald sanft genähert, sodass sie sich berührten, bald von einander entfernt. Das Resultat des Versuches ist folgendes:

Versuch I.

(Anwendung des Nervenstromes in aufsteigender Richtung als polarisirenden Stromes.)

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,2 Mm.	2	1,2 Mm.
3	1,2 -	4	1,3 -
5	1,5 -	6	2,7 -
7	1,3 -	8	3,0 -
9	1,6 -	10	2,5 -
11	1,5 -	12	3,1 -
13	1,5 -	14	3,2 -
15	1,6 -	16	2,6 -
17	1,5 -	18	3,1 -
19	1,5 -	20	3,2 -
21	1,5 -	22	2,5 -
23	1,5 -	24	1,7 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 38 Mm. Die Versuchszeit war Anfang December; der reizende Strom ein Schliessungsinductionsschlag. Die hierbei nothwendigen Controlversuche wurden in ähnlicher Weise, wie vorher bereits auseinandergesetzt ist, angestellt.

Hierauf wandte ich mich nun zunächst zur Untersuchung des aufsteigenden Katelectrotonus mit schwachen Strömen. Zu dem Ende wählte ich mir bald den ein-, bald den zweisaitigen Eisenrheochord, welcher mit nur 1 Grove'schen Elemente in Verbindung gesetzt wurde.

Ich begann nun zunächst mit dem einsaitigen Eisenrheochord und vermochte hier zu meinem Erstaunen die Veränderung der Erregbarkeit noch nachzuweisen, wenn die zu den thierischen Theilen angebrachte Nebenschliessung nicht mehr als 2 Cm. Eisendraht von 0,3 Mm. Dicke betrug, sage 2 Cm. Eisendraht. Anfangs glaubte ich deshalb, dass hier irgend ein Irrthum obwalte; als ich indessen der metallischen

Nebenschliessung den Widerstandswerth Null ertheilte, war auch alle Wirkung auf die Erregbarkeit verschwunden. Der mit doppelter Länge eingeschaltete Multiplicator zeigte den bei 2 Cm. Eisendraht-Nebenschliessung die thierischen Theile durchfliessenden Strom eben nur noch an bei schärfster Aufmerksamkeit; ebenso bringt der schwache Strom keine Spur von Zuckung hervor. Gleichwohl aber tritt oberhalb der negativen Electrode die Erhöhung der Erregbarkeit ganz deutlich zu Tage. Ich gebe zum Beweise folgende Versuche:

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,5 Mm.	2	2,3 Mm.
3	1,7 -	4	3,1 -
5	1,8 -	6	3,2 -
7	1,5 -	8	2,5 -
9	1,7 -	10	2,9 -
11	1,8 -	12	2,3 -
13	1,8 -	14	3,1 -
15	1,5 -	16	3,1 -
17	1,5 -	18	3,1 -
19	1,3 -	20	2,5 -
21	1,6 -	22	2,5 -
23	1,6 -	24	2,5 -

Länge des Musculus gastroknemius = 36 Mm.; Länge der metallischen Nebenschliessung des Rheochords = 2 Cm. Ablenkung der Multiplicatornadel eine kaum bemerkbare Spur. Abstand der Electrodenpaare = 5 Mm. Nach der hier bemerkbar werdenden Wirkung zu schliessen, war die Stärke des polarisirenden Stromes von einerlei Ordnung mit der des ruhenden Nervenstromes, wie eine Vergleichung von Versuch II. mit Versuch I. ergiebt.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,9 Mm.	2	4,3 Mm.
3	1,9 -	4	4,3 -
5	1,9 -	6	4,3 -
7	0,8 -	8	3,1 -
9	0,8 -	10	3,1 -
11	0,8 -	12	2,0 -
13	0,8 -	14	3,0 -
15	0,8 -	16	3,6 -
17	0,8 -	18	3,5 -
19	0,8 -	20	3,0 -
21	0,8 -	22	0,8 -
23	0,8 -	24	0,7 -

Länge des Musculus gastroknemius = 35 Mm.; Länge der metallischen Nebenschliessung des Rheochords = 4 Cm. Ausschlag der Nadel des Multiplicators eine Spur.

Indem ich nun solche Versuchsreihen ferner anstellte für immer grössere Längen der Nebenschliessung und hierbei stets um 5 Cm. vorschritt, zeigte sich immer deutlicher und stärker die Zunahme des positiven Zuwachses vor dem aufsteigenden Strome. Als ich bei der Länge der Nebenschliessung von 50 Cm. angekommen war, wofür der Multiplicator eine Ablenkung von 4° ergab, wählte ich den zweisaitigen Eisenrheochord, um nun etwas geschwinder vorzuschreiten. Verbunden wurde derselbe mit 7 Grove'schen Elementen. Ich stellte zuerst die Nadel wieder auf 5° ein und beschloss nun, immer von 5 zu 5° am Multiplicator mit den Stromstärken vorzurücken. Die neue Einstellung der Stromstärke geschah natürlich immer an dem soeben benutzten Schenkel, welcher darauf fortgeworfen wurde. Als ich bei der Stromstärke angelangt war, wo die constante Ablenkung des Multiplicators

25° betrug, war der Zuckungszuwachs bereits so bedeutend, dass er dem Maximum der Zuckung gleich kam, da ein Reiz, dem die Zuckung Null entsprach, sofort das Zuckungsmaximum gab, wenn unterhalb ein Strom in aufsteigender Richtung von bezeichneter Grösse geschlossen wurde. Von 25° ab schritt ich nun jedesmal um 2½° mit der Stromstärke vor, bis ich bei 50° constanter Ablenkung angelangt war. Auch innerhalb dieser Breiten trat fortwährend die erhöhte Erregbarkeit mit ungeheurer Stärke ganz unfehlbar jedesmal auf. Sobald ich 50° überschritten hatte, ging ich nun mit der Stromstärke nur um 1° jedesmal weiter. So blieb noch fortwährend die Erhöhung der Erregbarkeit, bis ich auf 62° constanter Ablenkung gekommen war; hier bemerkte ich dann, dass auf einmal mein Strom nicht mehr recht wirken wollte. Es war zwar noch eine Wirkung vorhanden, in Folge deren die Erregbarkeit erhöht schien; aber diese Wirkung erschien so schwach, als hätte ich einen ganz geringen Strom nur angewandt. Endlich gelangte ich bei der Stromstärke an, der die constante Ablenkung von 70° entsprach. Die Erhöhung der Erregbarkeit war nicht mehr nachzuweisen; starke Reize, welche vor Schliessung des constanten aufsteigenden Stromes sehr wirksam waren, hatten nunmehr ihre Wirkung eingebüsst, sobald der Strom von dieser Stärke geschlossen wurde. Es war mir nun interessant, den Punkt zu treffen, wo die Curve die Abscisse schneidet. Ich verkleinerte deshalb die jetzt vorhandene Nebenschliessung von 2 × 170 Cm. Eisendraht um 45 Cm. und hatte den Werth der Stromstärke, welche sich wirkungslos zeigte. Als ich um 10 Cm. die Nebenschliessung noch mehr verkleinerte, war das Zeichen des Zuwachses umgekehrt, die Erhöhung der Erregbarkeit wieder deutlich vorhanden. Ich erlaube mir, diesen Versuch noch mitzutheilen.

Versuch IV.

A. Stromstärke, bei welcher die Ablenkung 70° betrug:

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	5,9 Mm.	2	2,5 Mm.
3	6,8 -	4	4,9 -
5	7,1 -	6	3,5 -
7	7,5 -	8	1,2 -
9	7,0 -	10	1,4 -

B. Nunmehr wird die Stromstärke hergestellt, der die Ablenkung $67\frac{1}{4}$° entspricht und der Versuch fortgesetzt:

11	4,1 Mm.	12	4,2 Mm.
13	4,6 -	14	4,6 -
15	4,6 -	16	4,6 -
17	4,6 -	18	4,6 -

C. Sodann wird die Stromstärke abermals geschwächt, bis die Ablenkung 65° beträgt und wieder der Versuch fortgesetzt:

19	1,5 Mm.	20	5,8 Mm.
21	1,5 -	22	5,6 -
23	1,5 -	24	3,5 -
25	1,5 -	26	2,4 -

Die Länge des Gastroknemius betrug 35 Mm. Der Abstand der Electrodenpaare, wie bei allen diesen Versuchen über den Einfluss der Stromstärke, = 5 Mm.

Diejenige Stromstärke, bei welcher also die Function ihr Zeichen ändert, ist diejenige, bei welcher für den Widerstand der beschriebenen Vorrichtungen die metallische Nebenschliessung des zweisaitigen Eisenrheochords 300 bis 350 Cm. beträgt. Der Draht hatte, wie gesagt, die Dicke von 0,3 Mm.; die Zahl der kleinen Grove'schen Ele-

mente war 7. Die rauchende Salpetersäure war ganz frisch und nicht gemischt mit anderer. Bei halber Multiplicatorlänge entsprach diesem Strome eine Ablenkung von 70°.

Unterhalb dieser Stromstärke haben wir aber niemals eine Ausnahme von dem Gesetze wahrgenommen, dass vor dem aufsteigenden Strome die Erregbarkeit erhöht sei. Wir können demnach jetzt mit aller Bestimmtheit behaupten, dass, so lange die Stromeswerthe unter jener bestimmten Grenze bleiben, das Zeichen der Function niemals wechselt; denn es wäre unmöglich, dass uns ein solcher Zeichenwechsel bei unserer Methode hätte entgangen sein können. Ein für die Bestimmung des Werthes der Stromstärke, bei welcher die Umkehr des Zeichens stattfindet, wichtiger Umstand ist die durch Modification des Nerven erzeugte Schwankung dieses Werthes. Wenn man nämlich einen stärkeren Strom auch nur einige Minuten den Nerven durchfliessen lässt und dann abermals den Werth der Stromstärke bestimmt, bei welchem die Umkehr des Zeichens der Function stattfindet, so wird man jetzt diesen Werth ausserordentlich viel kleiner finden, sodass der Strom also durch seinen modificirenden Einfluss auf den Nerven jenen Werth fortwährend herabzusetzen strebt. Wir dürfen demnach behaupten, dass der von uns gefundene Werth um etwas zu klein ist, obschon wir stets bei der Verfolgung der Function die Regel beobachteten, für jeden neu zu untersuchenden Stromeswerth ein frisches Präparat zu nehmen, falls nicht das Gegentheil gerade wünschenswerth war.

Die Frage, die uns aber weiter interessirt, ist die, ob die Function nun, nachdem sie ihr Zeichen gewechselt hat, hierbei bleibt, oder ob bei weiterer Steigerung der Stromstärke nochmals vielleicht eine Umkehr stattfindet. Um dies zu erfahren, wählte ich nun den grossen Neusilberrheochord, welcher mit 10 Grove'schen Elementen verbunden wurde. Um den Multiplicator nun noch als Messapparat gebrauchen zu können, brachte ich eine Nebenschliessung aus Neusilberdraht zu ihm an, nachdem ich zuvor diejenige Stromstärke eingestellt hatte, bei welcher die Function ihr Zeichen ändert.

Dieser Strom lenkte die Nadel des mit der Nebenschliessung verbundenen Multiplicators um 6° ab. Wiederum schritt ich hier nun erst um je 5° bis 25° constanter Ablenkung vor, dann um $2\frac{1}{2}$° u. s. f., bis schliesslich die ganze Rheochordlänge auch am grossen Rheochord verbraucht war. Nunmehr fliesst ein Strom durch den Nerven, welcher so stark ist, dass er denselben äusserst rasch zerstört; denn er ist fast eben so gewaltig, als ob die metallische Nebenschliessung zu ihm gar nicht angebracht wäre, wie wir oben auseinandergesetzt haben. Es zeigte sich nun bei allen diesen Stromeswerthen, welche über dem oben bezeichneten liegen, dass ausnahmslos der Zuckungszuwachs negativ ist und bleibt. Oder mit anderen Worten: es verharrt mit fortwährend wachsender Stromstärke, die Function fortwährend unter der Abscisse, sodass also ein Zeichenwechsel nicht mehr stattfindet. Die Stärke der Wirkung des aufsteigenden Stromes in Bezug auf die Unterbrechung der Leitung der Reizung nach dem Muskel zu ist ganz ungeheuer; denn der erregbarste Nerv beantwortet Inductionsschläge, welche bereits fühlbar sind, nicht mehr, sobald zwischen ihm und dem Muskel ein Strom von ausreichender Stärke in aufsteigender Richtung geschlossen wird. Ich gebe endlich noch einige Versuche, durch welche die Zunahme des Katelectrotonus demonstrirt werden soll, so lange die Stromstärken sich unter einer gewissen Grenze halten.

Versuch V.

A. Schwacher Strom. Constante Ablenkung der Nadel des Multiplicators bei halber Länge ohne Nebenschliessung = 1°:

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,7 Mm.	2	4,5 Mm.
3	0,6 -	4	4,3 -
5	0,6 -	6	3,9 -
7	0,6 -	8	4,2 -

B. Stärkerer Strom. Constante Ablenkung = 25°. Fortsetzung des Versuches:

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
9	0,5 Mm.	10	6,7 Mm.
11	0,7 -	12	6,8 -
13	0,1 -	14	6,6 -
15	0,1 -	16	6,8 -
17	0,7 -	18	6,8 -
19	0,7 -	20	6,8 -
21	0,7 -	22	6,8 -

C. Wieder schwacher Strom mit constanter Ablenkung von 1°. Fortsetzung des Versuches:

23	1,9 Mm.	24	2,9 Mm.
25	1,9 -	26	3,2 -
27	2,0 -	28	4,0 -
29	1,4 -	30	3,2 -

D. Wieder stärkerer Strom mit constanter Ablenkung von 25°. Fortsetzung des Versuches:

31	1,3 Mm.	32	6,3 Mm.
33	1,4 -	34	6,5 -
35	1,3 -	36	6,6 -
37	1,3 -	38	6,6 -
39	1,3 -	40	6,7 -
41	0,4 -	42	6,3 -
43	0,4 -	44	6,5 -

Länge des Musculus gastroknemius = 40 Mm.

Endlich gebe ich noch einen Versuch, in welchem an demselben Präparate zwei Stromstärken angewandt werden, von denen die eine unter, die andere über jener liegt, bei welcher die Function ihr Zeichen umkehrt.

Digitized by Google

Versuch VI.

A. Schwacher Strom. Constante Ablenkung der Nadel des Museumsmultiplicators mit halber Länge = 38°:

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,0 Mm.	2	6,6 Mm.
3	1,2 -	4	6,6 -
5	1,3 -	6	7,0 -
7	0,5 -	8	7,0 -
9	0,5 -	10	7,2 -
11	0,5 -	12	7.4 -
13	0,5 -	14	7,5 -
15	0,5 -	16	7,5 -
17	0,5 -	18	7,5 -
19	0,4 -	20	7,5 -

B. Starker Strom. Constante Ablenkung = 84°. Fortsetzung des Versuches:

21	0,5 Mm.	22	0,0 Mm.
23	2,1 -	24	0,0 -
25	3,1 -	26	— -
27	7,5 -	28	— -
29	7,5 -	30	— -
31	8,5 -	32	— -
33	8,5 -	34	— -
35	8,6 -	36	— -
37	8,3 -	38	— -
39	8,2 -	40	— -

Länge des Musculus gastroknemius = 38 Mm.

Diese Versuche und Betrachtungen dürften nun ausreichen, um das Gesetz, welches die Abhängigkeit der Stärke des extrapolaren aufsteigenden Katelectrotonus von der Stärke des polarisirenden Stromes bestimmt, folgendermaassen auszusprechen:

Der bei Reizung oberhalb eines aufsteigenden Stromes bemerkbare Zuckungszuwachs ist anfangs positiv und wächst mit wachsender Stromstärke bis zu einem gewissen Grade, wo er ein Maximum erreicht. Er nimmt hierauf mit weiter wachsender Urvariabeln wieder bis zur Abscisse ab, schneidet diese und wächst dann mit umgekehrtem Zeichen fortwährend, sich wahrscheinlich schliesslich einem unbekannten Werthe asymptotisch anschliessend.

Was aber die Bedeutung dieses merkwürdigen Gesetzes betrifft, so werde ich später wahrscheinlich machen, dass vor dem aufsteigenden Strome die Erregbarkeit bei jeder Stromstärke erhöht ist und bei sehr bedeutenden nur darum herabgesetzt scheint, weil die intrapolare Strecke durch den Strom unfähig gemacht wird, die Reizung nach dem Muskel zu fortzupflanzen, was bei niederen Stromstärken nicht der Fall ist.

Ehe wir indessen dieses Kapitel verlassen, wird es noch unsere Aufgabe sein, den Lauf der Function mit Hülfe chemischer Reizung darzuthun. Der Versuch bietet nunmehr, nachdem uns die Methoden zur Hand sind, keine Schwierigkeiten. Wir legen das Electrodenpaar des constanten Stromes dem Nervus ischiadicus möglichst tief an und lassen oberhalb desselben den Nerven sich in einer grösseren Länge von 8—10 Mm. mit concentrirter Kochsalzlösung benetzen. Wir bedienen uns zur Beherrschung der Stromstärke des grossen Neusilberrheochords, den wir mit 6 kleinen Grove'schen Elementen verbinden. Sobald nun der Muskel anfängt, die ersten Spuren eines schwachen Tetanus zu zeigen, schliesst man den Strom und lässt denselben dann von Null aus anschwellen. Mit wachsender Stromstärke wird der Tetanus immer stärker und stärker. Geht man aber noch weiter, so nimmt er wieder ab und verschwindet endlich ganz. Vorher muss man sich natürlich überzeugt haben, dass der Strom an sich keinen Tetanus hervorbringt, was bei dieser Anordnung nicht leicht der Fall ist. Unterbricht man dann den starken

Digitized by Google

Strom, so ist nun ein heftiger Tetanus vorhanden, der durch denselben Strom wieder aufgehoben, durch einen schwachen verstärkt werden kann. Es hat uns also auch die chemische Reizung nunmehr zu demselben Gesetze geführt, und wir dürfen dasselbe demnach als durchaus gesichert ansehen.

Kapitel IV.

Untersuchung der Abhängigkeit des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Länge der intrapolaren Strecke.

Es ist seit lange bekannt und durch die Aussagen der ausgezeichnetsten Forscher als über jeden Zweifel erhaben festgestellt, dass die Grösse der durch einen electrischen Strom herbeigeführten Reizung mit der Länge der durchflossenen Nervenstrecke in sehr raschem Verhältnisse wächst. So ausserordentlich gross ist dieser Einfluss der Länge der erregten Strecke auf die Stärke der Zuckung, dass er, selbst wenn die Reizung mit Hülfe einer trocknen Kette ausgeführt wird, dennoch heraustritt. In diesem Falle nimmt aber die Stromstärke in umgekehrtem Verhältnisse mit der Länge ab (s. die Literatur in du Bois-Reymond's Untersuchungen. Bd. I p. 295 ff.). Man könnte jetzt, nachdem von mir der Nachweis geliefert worden ist, dass die Reizung an Stärke wächst, wenn weiter vom Muskel entfernte Theile des Nerven erregt werden, jenen Einfluss der Länge hierauf zurückführen wollen, weil die Experimentatoren wohl meistens die Verlängerung so herstellten, dass sie die Nervenarmatur am Nerven höher hinaufrückten, sie also vom Muskel entfernten. Mag nun auch wirklich in den meisten Fällen die hervorgebrachte Vermehrung der Zuckung ganz besonders hierin begründet gewesen sein, so besteht gleichwohl, wie ich mich durch besondere hierauf gerichtete Experimente erst überzeugte, jener Einfluss der Länge in Wirklichkeit. Bei meinen Ver-

Digitized by Google

suchen nämlich stellte ich die Verlängerung so her, dass ich den peripherischen Theil neu in den Kreis aufnahm. Gleichwohl trat auch so die Verstärkung der Zuckung deutlich zu Tage; wobei allerdings zu bemerken ist, dass bei meiner Methode ausser dem Widerstande des Nerven noch die zur Vermeidung der Polarisation eingeführten bedeutenden Widerstände vorhanden waren, sodass die Stromstärke natürlich jetzt nicht mehr so schnell mit zunehmender Länge abnehmen konnte. Gleichwohl nahm dieselbe laut der Aussage des in den Kreis eingeschalteten Multiplicators deutlich ab.

Du Bois-Reymond hat die analoge Thatsache am Multiplicator für die negative Schwankung des ruhenden Nervenstromes sicher gestellt. Zu all diesen so höchst merkwürdigen Thatsachen hat derselbe Forscher endlich noch die andere gesellt, dass auch im Electrotonus der Zuwachs mit der Länge in mächtiger Zunahme begriffen sei (s. du Bois-Reymond a. a. O. Bd. II p. 459 und 337). Der hierdurch constatirte Einfluss der Länge scheint mir nun ganz erstaunlich merkwürdig; denn a priori sollte man doch glauben, dass der Zustand eines gegebenen Querschnittes des vom polarisirenden Strome unmittelbar betroffenen Nerven lediglich abhänge von der Stromdichte, welche in ihm herrsche, um so mehr, als weder der electrische Strom noch die Molekeln der Nerven selber eine Wirkung in die Ferne auf Nervenmolekeln ausüben. Dieser Einfluss der Länge muss demnach in Beziehungen begründet sein, welche zwischen den Molekeln stattfinden. Da also die extrapolare Veränderung mit wachsender Länge der intrapolaren selbst in rascher Zunahme begriffen ist, so schloss ich, dass sich dies Gesetz auch durch die Veränderung der Erregbarkeit des Nerven müsse constatiren lassen.

Die Methode aber, deren ich mich bedienen wollte, war folgende. Es wurden zunächst dem Nerven die Eiweisselectroden angelegt, welche mit A, B, C bezeichnet sein mögen, wobei wir am Nerven in der Richtung von der Ausbreitung nach dem Ursprunge, in sogenannt centripetaler Richtung, zählen. Die Electroden B und C sind einander möglichst nahe gebracht, sodass ihr Abstand 1 Mm. beträgt, wenn

Digitized by Google

man den Zwischenraum zwischen den sich zugekehrten Wänden rechnet, während die Electrode C von der B mehr oder weniger weit entfernt ist. Durch diese Electroden soll nun der Strom so geführt werden, dass er bald durch BC, bald durch AC oder AB fliesst, also bald durch lange, bald durch kurze Strecke, und zwar stets in aufsteigender Richtung. Die specielle Ausführung des Versuches ist aus Fig. 14 ersichtlich. Zwischen die Kette K_1 und die drei Electroden A, B, C, welche dem Nerven NN des Muskels M angelegt sind, wird der Pohl'sche Commutator ohne Kreuz (C_1) eingeschaltet. Das Quecksilbernäpfchen β des Commutators ist mit dem Quecksilbernäpfchen β' ein für allemal leitend verbunden. Die Electrode A führt nach dem Näpfchen α', B nach dem Näpfchen α, während C mit β in Verbindung steht. Liegt nun die Wippe nach links, so fliesst der Strom durch BC, liegt sie aber nach rechts, so tritt derselbe bei A in den Nerven ein und bei C wieder aus, um von β über β' und π_2 nach der Kette K_1 zurückzukehren. D, E sind die Electroden des Schliessungsinductionsstromes, der in der secundären Spirale s erregt wird; p ist der primäre Kreis mit der zu ihm gehörigen Kette K_2. Soll der Strom aber einmal durch BC, das andere Mal durch AB gehen, so wird nicht Näpfchen β mit β' ein für allemal leitend verbunden, sondern α mit β'. Hat dann die Wippe des Commutators die Lage nach rechts, so tritt der Strom von π_1 durch α' bei A in den Nerven ein und bei B wieder aus, um über α, β', π_2 nach Z zurückzukehren. Wie man sieht, stellen wir die Verlängerung so her, dass die neu aufzunehmenden Nerventheile weiter von der gereizten Strecke entfernt sind als die bereits im Kreise vorhandenen der kurzen Strecke; denn wenn wir uns bei der Verlängerung der intrapolaren Strecke der gereizten nähern wollten, so könnte doch das dann erlangte Resultat nur zweideutig sein, weil ja bereits die Annäherung an sich eine Verstärkung der Wirkung herbeiführt. Dass wir aber ferner bei der Verlängerung der intrapolaren Strecke zwei Methoden gebrauchen, von denen die eine darin besteht, dass die längere Strecke die kürzere enthält, während bei der anderen das nicht der

Digitized by Google

Fall ist, hat seinen Grund in folgender Erwägung. Vergleicht man nämlich nach der ersten Methode die Stärke der Wirkung von langer und kurzer Strecke, so ist es klar, dass die kurze Strecke caeteris paribus doppelt so lange dem electrolysirenden Einflusse des Stromes ausgesetzt sein wird. Denn bei jeder Schliessung des polarisirenden Stromes, mag eine lange oder kurze Strecke betroffen werden, ergiesst sich derselbe durch die kurze Strecke, während die lange Strecke nicht betroffen wird, so lange der Strom durch die kurze Strecke direct fliesst; hierzu kommt dann noch, dass der Strom in der kurzen Strecke der stärkere ist. Man könnte zwar sagen, dass dieser Einwand darum nicht stichhaltig sei, weil man ja gleich beim Beginn des Versuches den Strom erst durch die kurze und dann durch die lange Strecke gehen lassen könne, wo dann jetzt eher die Ueberlegenheit auf Seite der kurzen Strecke sein dürfte. Zum Theil ist diese Bemerkung richtig, besonders wenn man es mit nicht so langen Strecken zu thun hat. Ueberschreitet aber die lange Strecke 7—10 Mm., so verliert jener Kunstgriff fast allen practischen Werth. Denn jene erregende oder tetanisirende Wirkung des constanten Stromes, welche von kurzen Strecken aus, zumal wenn sie dem Muskel nahe sind, nicht leicht beobachtet wird, tritt jetzt bei günstigeren Bedingungen mit ungemeiner Heftigkeit hervor, so zwar, dass man die Frage aufwerfen könnte, ob jetzt noch unsere Untersuchung überhaupt angestellt werden könnte, weil beim frischen Schenkel anfangs bei den ersten Schliessungen von der langen Strecke fast regelmässig ein heftiger Tetanus hereinbricht. Hier kann man sich denn nicht anders helfen, als dass man den Schenkel so lange und so oft fortwirft, bis man einmal einen weniger erregbaren trifft, der den constanten Strom auch von der langen Strecke aus ohne Tetanus erträgt. Das ist aber eine sehr unbequeme und zeitraubende Methode. Am leichtesten noch kommt man zum Ziele, wenn man einige Zeit lang einen etwas stärkeren Strom den Nerven durchkreisen lässt. Freilich experimentirt man dann an einem bereits modificirten Nerven, weshalb die erhaltenen Resultate nur mit Vorsicht anzuwenden sind. Ich

überzeugte mich indessen davon, dass dieselben sich nicht unterschieden von denen, welche von einem frischen, nicht modificirten Nerven erhalten worden waren, was sich ja dann constatiren lässt, wenn man die lange erregte Strecke so kurz nimmt, dass von ihr aus der Strom keinen Tetanus mehr erzeugt. Man übersieht nunmehr, weshalb ich auch den Einfluss der Länge noch nach der zweiten Methode zu erforschen hatte, bei welcher jener aus der Ermüdung entspringende Einwurf wegfällt. So bedeutend ist also jener Einfluss der Länge, dass er auch selbst so noch nachweisbar ist, obschon die gereizte Stelle weiter von der längeren Strecke entfernt ist als von der kürzeren, obschon zweitens die von der längeren Strecke her erregte Polarisation sich durch jene Strecke hindurch fortpflanzen muss, welche bereits der Wirkung eines Stromes ausgesetzt war, und obschon endlich und drittens die Stromstärke in der langen Strecke die schwächere ist, wie der in den Kreis eingeschaltete Multiplicator bezeugt.

Gehen wir nun zur speciellen Erforschung des Einflusses der Länge über, welche wir für die verschiedenen Stromstärken zu untersuchen haben, da ja von dieser die Erscheinungen des aufsteigenden Katelectrotonus in so hohem Grade abhängig sind. Ich begann demgemäss die Untersuchung wieder mit ganz schwachen Strömen, denen eine constante Ablenkung von 5° am Museumsmultiplicator entsprach. Bei dieser Stromstärke wurden folgende Verhältnisse der Längen durchexperimentirt:

l : L = 1 Mm. : 5 Mm.
l : L = 1 - : 10 -
l : L = 1 - : 15 -
l : L = 1 - : 25 -
l : L = 1 - : 30 -

Bei allen Verhältnissen und jener geringen Stromstärke erhielt ich stets den positiven Zuwachs grösser, wenn der Strom durch die längere Strecke ging. Doch war nicht zu leugnen, dass der Einfluss der Verlängerung, wenn auch deutlich, doch nur klein war. Um dem Leser eine Einsicht in

Digitized by Google

die quantitativen Verschiedenheiten zu verschaffen, gebe ich folgende Versuche als Beispiele.

Versuch I.

A. Nachweisung des Katelectrotonus bei kurzer intrapolarer Strecke.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,3 Mm.	2	1,6 Mm.
3	1,3 -	4	1,9 -
5	1,3 -	6	1,9 -
7	1,3 -	8	1,4 -

B. Nachweisung des Katelectrotonus bei langer intrapolarer Strecke. Fortsetzung des Versuchs.

9	1,3 Mm.	10	3,0 Mm.
11	1,3 -	12	3,2 -
13	1,3 -	14	3,0 -
15	1,3 -	16	3,2 -
17	1,2 -	18	3,1 -

C. Hierauf wird wiederum der polarisirende Strom durch die kurze Strecke geschickt und der Versuch fortgesetzt.

19	1,2 Mm.	20	1,5 Mm.
21	1,3 -	22	1,9 -
23	1,3 -	24	1,3 -
25	1,3 -	26	1,3 -

D. Wiederum lange Strecke. Fortsetzung des Versuchs.

27	1,2 Mm.	28	3,0 Mm.
29	1,1 -	30	3,0 -
31	1,1 -	32	3,0 -
33	1,1 -	34	3,0 -

Die Specialbedingungen des Versuches waren: Länge des Musculus gastroknemius = 35 Mm. Das Verhältniss der

Digitized by Google

kurzen zur langen polarisirten Strecke = 1 Mm. : 20 Mm. Die constante Ablenkung von der kurzen Strecke aus am Museumsmultiplicator bei halber Länge = 5°; von der langen Strecke = 3,5°.

Versuch II.

A. Kurze Strecke.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,3 Mm.	2	3,0 Mm.
3	1,2 -	4	1,2 -
5	1,1 -	6	1,1 -
	B. Lange Strecke.		
7	1,3 Mm.	8	3,1 Mm.
9	1,1 -	10	2,6 -
11	1,2 -	12	2,8 -
13	1,2 -	14	2,8 -
	C. Wieder kurze Strecke.		
15	1,1 Mm.	16	0,9 Mm.
17	1,1 -	18	1,8 -
19	0,9 -	20	1,1 -
21	1,0 -	22	1,0 -
	D. Wieder lange Strecke.		
23	0,8 Mm.	24	3,0 Mm.
25	0,8 -	26	3,1 -
27	0,8 -	28	3,3 -
29	0,5 -	30	1,6 -

Die Bedingungen sind dieselben wie vorher. Nur war l : L = 1 Mm. : 25 Mm. Länge des Musculus gastroknemius = 36 Mm.

Aus diesen Versuchen nun erhellt ohne Weiteres auf das Deutlichste, dass die schwächere Wirkung von der kurzen

Digitized by Google

Strecke, die stärkere von der langen zu Stande kam, obschon die Stromstärke in letzterer geringer war. Dies Resultat ist in den zahlreichen darauf gerichteten Versuchsreihen stets constant gewesen, mochte ich die eine oder die andere der oben angegebenen Methoden anwenden, mit Hülfe derer die Verlängerung der intrapolaren electrotonisirten Strecke hergestellt wurde. Das Resultat blieb dasselbe bis ich mit den Stromstärken bei demjenigen Werthe angelangt war, dem eine constante Ablenkung von 35° des Museumsmultiplicators bei halber Länge entsprach. Jetzt nämlich wollte die Verlängerung nicht mehr recht deutlich hervortreten, ja als ich noch ein wenig höher mit der Stromstärke ging (37° constanter Ablenkung von der kurzen Strecke aus), sah ich von der langen Strecke aus die schwächere Wirkung erfolgen. Wiederum gebe ich als Beispiele aus den zahlreichen darauf zielenden Versuchsreihen einige Belege.

Versuch III.

A. Kurze Strecke.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,0 Mm.	2	4,0 Mm.
3	1,2 -	4	5,0 -
5	1,0 -	6	5,5 -
7	1,0 -	8	5,5 -

B. Lange Strecke.

9	1,0 Mm.	10	2,5 Mm.
11	1,1 -	12	3,2 -
13	1,8 -	14	3,0 -
15	1,0 -	16	3,2 -

C. Wieder kurze Strecke.

17	0,9 Mm.	18	4,5 Mm.
19	1,0 -	20	6,2 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
21	0,9 Mm.	22	6,2 Mm.
23	0,2 -	24	6,3 -
25	0,2 -	26	6,3 -
27	0,2 -	28	6,3 -
	D. Wieder lange Strecke.		
29	1,0 Mm.	30	3,7 Mm.
31	0,9 -	32	3,5 -
33	1,0 -	34	3,6 -
35	0,1 -	36	1,4 -
	E. Wieder kurze Strecke.		
37	0,1 Mm.	38	5,3 Mm.
39	0,1 -	40	4,6 -

Die Bedingungen dieses Versuches waren: das Verhältniss der kurzen zur langen Strecke wie 1 Mm. zu 20 Mm. Die constante Ablenkung am Museumsmultiplicator bei halber Länge von der kurzen Strecke aus = 39°, von der langen = 33°. Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 38 Mm.

Innerhalb dieser Breite der Stromstärken ist also zwar von allen Längen aus, welche am Ischiadicus herstellbar sind, noch die Erhöhung der Erregbarkeit zu demonstriren, obschon offenbar die Curve der Zuckungszuwachse als Funktion der Stromstärke betrachtet, sich um so eher der Abscisse zuneigt, je länger die intrapolare Strecke ist. Wir müssen also darauf gefasst sein, dass bei noch weiterer Steigerung der Stromstärken die kurze Strecke positiven, die lange negativen Zukkungszuwachs giebt, weil bei einem gegebenen Abscissenwerthe die eine Curve bereits unter der Abscisse liegt, während die andere noch darüber ist. Zu meinem Erstaunen trat dieser Umstand schon ein, als ich die Stromstärke erreichte, welcher die contante Ablenkung des Museumsmulti-

plicators von 46° bei halber Länge von der kurzen intrapolaren Strecke aus entsprach, während von der langen Strecke aus die Ablenkung nur 42° betrug und das Verhältniss der polarisirten Längen wie 1 Mm. : 10 Mm. gesetzt war. Ich gebe als Beleg wiederum eine meiner Versuchsreihen.

Versuch IV.

A. Lange Strecke.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	2,3 Mm.	2	1,7 Mm.
3	2,3 -	4	1,7 -
5	2,2 -	6	2,1 -
7	2,2 -	8	1,7 -
	B. Kurze Strecke.		
9	2,1 -	10	3,9 -
11	2,0 -	12	3,5 -
13	2,0 -	14	4,0 -
15	2,0 -	16	3,5 -
	C. Wieder lange Strecke.		
17	2,0 -	18	0,3 -
19	1,8 -	20	0,2 -
21	1,8 -	22	0,2 -
23	1,8 -	24	0,2 -
25	1,7 -	26	0,2 -
	D. Wieder kurze Strecke.		
27	1,6 -	28	3,5 -
29	1,7 -	30	3,5 -
31	1,6 -	32	4,0 -
33	1,6 -	34	3,3 -

E. Wieder lange Strecke.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
35	1,6 Mm.	36	0,3 Mm.
37	1,6 -	38	0,3 -
39	1,7 -	40	0,3 -
	F. Wieder kurze Strecke.		
41	1,7 -	42	3,6 -
43	1,7 -	44	3,6 -
45	1,7 -	46	3,8 -
	G. Wieder lange Strecke.		
47	1,8 -	48	0,2 -
49	1,8 -	50	0,2 -
	H. Wieder kurze Strecke.		
51	1,8 -	52	3,7 -
53	1,7 -	54	3,6 -

Die Specialbedingungen dieses Versuches sind bereits angegeben. Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 33 Mm.

Indem ich nun mit der Stromstärke noch weiter vorrückte, trat dann diejenige auf, welche sowohl von kurzer als langer Strecke aus den negativen Zuckungszuwachs hervorbrachte; doch war er natürlich bei der kurzen intrapolaren Strecke kleiner als bei der langen. Denn die der langen Strecke entsprechende Curve ist mittlerweile mit wachsender Abscisse immer tiefer unter diese gesunken, bis die der kürzeren Länge entsprechende erst die Abscisse geschnitten hat.

Wiederum gebe ich als Beleg einige Versuche.

Versuch V.

A. Kurze Strecke.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	7,5 Mm.	2	3,6 Mm.
3	7,5 -	4	2,8 -
5	7,5 -	6	3,0 -
7	7,5 -	8	2,9 -
B. Lange Strecke.			
9	7,5 -	10	0,0 -
11	7,5 -	12	0,0 -
13	7,5 -	14	0,0 -
C. Wieder kurze Strecke.			
15	7,5 -	16	2,5 -
17	8,1 -	18	5,4 -
19	8,2 -	20	4,2 -
21	8,1 -	22	4,3 -
23	8,0 -	24	4,1 -
D. Wieder lange Strecke.			
25	8,0 -	26	0,0 -
27	7,2 -	28	0,1 -
29	7,0 -	30	0,0 -
31	6,9 -	32	0,1 -
E. Wieder kurze Strecke.			
33	6,3 -	34	5,8 -
35	6,5 -	36	3,5 -
37	6,8 -	38	4,5 -

Die Länge des Musculus gastroknemius = 35 Mm. Die kurze Strecke verhielt sich zur langen Strecke wie 1 : 10 Mm.

Die constante Ablenkung von der kurzen Strecke nun betrug 85°, von der langen Strecke eine Spur weniger.

Dies Verhalten bewährte sich für diese Stromstärke bei folgenden Verhältnisszahlen der Längen, welche durchexperimentirt wurden:

l : L	=	1 Mm. :	5 Mm.
l : L	=	1 - :	10 -
l : L	=	1 - :	15 -
l : L	=	1 - :	20 -
l : L	=	1 - :	25 -

Selbst bei der grossen Länge gab dieser Strom bereits anfangs nur Oeffnungszuckung.

Ich schritt dann mit der Stromstärke noch weiter vor nach jener Methode, welche ich bereits oben auseinandergesetzt habe; das Verhalten aber blieb nunmehr dasselbe. Ich wurde nur genöthigt, statt des Schliessungsschlages den Oeffnungsschlag anzuwenden, weil der Strom die Leitung der Reizung durch die intrapolare Strecke so stark unterbrach, dass bei ganz aufgeschobener secundärer Rolle der Schliessungsschlag selbst bei kurzer intrapolarer Strecke keine Spur von Zuckung mehr erzeugte. Obwohl ich nun in der Stromstärke so weit gegangen bin, dass ich den Strom von 10, sage von 10 kleinen Grove'schen Elementen durch den Nerven gehen liess, so war die Wirkung von der längeren Strecke aus immer die heftigere. Doch haben diese Versuche das Missliche, dass jetzt wegen der heftigen Oeffnungsinductionsschläge die unipolaren Wirkungen so schwer zu beseitigen sind. Gleichwohl habe ich durch Isolation und auf die Versuche folgende Controlbeobachtungen mich überzeugt, dass ich durch dieselben nicht in die Irre geführt worden war. Ich gebe endlich noch einen Versuch, wo mit langer und kurzer Strecke fortwährend abgewechselt und der Oeffnungsschlag als Reiz angewendet wurde, während die Stromstärke von einem Strome herrührte, der um etwas bedeutender war als derjenige, welcher in Versuch V zur Anwendung kam. In der letzten Columne ist der Zahl, welche die Hubhöhe des Muskels angiebt, wenn der im electrotonischen Zustande gereizte Nerv erregt worden ist, ein Index

angehängt; (l) bedeutet, dass der polarisirende Strom durch die lange Strecke floss, (k) aber, dass er durch die kurze ging.

Versuch VI.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	5,9 Mm.	2	3,9 Mm. (k)
3	6,2 -	4	0,0 - (l)
5	6,5 -	6	3,0 - (k)
7	7,4 -	8	0,0 - (l)
9	7,0 -	10	4,3 - (k)
11	7,1 -	12	0,0 - (l)
13	7,3 -	14	4,0 - (k)
15	7,5 -	16	0,0 - (l)
17	7,8 -	18	4,4 - (k)
19	7,8 -	20	0,0 - (l)
21	7,6 -	22	4,3 - (k)
23	7,7 -	24	0,0 - (l)
25	7,7 -	26	1,0 - (k)
27	7,8 -	28	0,0 - (l)
29	7,6 -	30	3,0 - (k)
31	7,9 -	32	0,0 - (l)
33	7,5 -	34	3,1 - (k)
35	7,9 -	36	0,0 - (l)
37	7,4 -	38	2,0 - (k)
39	7,9 -	40	0,0 - (l)

Wenn man also die Curven, welche den Zuckungszuwachs für verschiedene intrapolare Längen darstellen, als Function der Stromstärke aufträgt, so würden sie sich folgendermaassen verhalten. Es sei (s. Fig. 15) OY die Coordinatenaxe, OX aber die Abscisse; $Oy_1Px_1y_2$ sei die der grösseren Länge entsprechende Curve der Zuwachse, $O\eta_1Px_2\eta_2$ aber die Curve, welcher die geringere Länge entspricht. Die Begründung dieses Verhaltens liegt aber offenbar in den gege-

benen Versuchen. Denn bei niederster Stromstärke fanden wir die stärkeren Wirkungen immer von der längeren Strecke aus eintreten. Mithin müssen anfangs die Ordinaten $y_1 > \eta_1$ sein. Bei weiterem Wachsen von X aber sahen wir den Werth $y - \eta$ abnehmen, ja alsbald η grösser als y werden. Es haben sich mithin beide Curven in einem Punkte P geschnitten, wo $\eta = y$ geworden ist. Von hier ab bleibt, mit weiter wachsendem X bis zum Werthe von x_1, sowohl y wie η positiv, während η fortwährend grösser ist als y. Zur Begründung dessen hatten wir ja Versuch III mitgetheilt. Sobald dann X den Werth von x_1 überschreitet, wechselt y sein Vorzeichen, während η noch positiv bleibt. Zur Begründung dieses Theiles der Curven haben wir Versuch IV mitgetheilt. Endlich aber, wenn X den Werth von x_2 überschritten hat, wechselt auch η sein Zeichen, und nunmehr ist sowohl η wie y negativ und bleibt es fortwährend. Absolut genommen ist y nun fortwährend grösser als η, wofür die übrigen angezogenen Versuchsreihen sprechen.

Eine noch genauere Bestimmung des Verlaufes dieser Functionen dürfte, so scheint es mir wenigstens, mit ganz ungeheuren Schwierigkeiten zu kämpfen haben, besonders, wenn man es darauf absehen wollte, absolute Werthe für die ausgezeichneten Punkte der Curven anzugeben. Wer aber aus Erfahrung weiss, wie rasch der Strom in kürzester Zeit diese Werthe durch Modification in dem einen oder anderen Sinne verschiebt, dem wird die hier gegebene Bestimmung, wenn auch nicht als ganz vollkommen, so doch als vor der Hand zu Manchem ausreichend, vielleicht willkommen sein.

Indem ich die theoretische Discussion dieses Verhaltens einer späteren Stelle überweise, bleibt mir endlich noch übrig, dasselbe Gesetz mit Hülfe der chemischen Reizung darzuthun. Schwierigkeiten sind in dieser Beziehung nunmehr keine vorhanden. Oberhalb der Electroden des constanten Stromes bespült concentrirte Kochsalzlösung den Nerven in einer Länge von 8—10 Mm. Sobald nun einige Zeit nach Application der Lösung ein schwacher Tetanus anhebt, schliesst man den Strom, welcher bald durch die lange, bald durch die kurze

Strecke geführt wird, ganz so, wie es soeben fortwährend angewendet worden ist. Mit Hülfe des Rheochords lässt man dann die Stärke desselben von Null aus anschwellen, indem man fortwährend die Wippe des Commutators bald nach rechts, bald nach links legt. Anfangs verstärkt der durch die lange Strecke fliessende Strom den Tetanus mehr als der durch die kurze Strecke geleitete; dann kommt eine Stromstärke, wo das Umlegen der Wippe keine Veränderung in der einmal vorhandenen Wirkung des Stromes hervorbringt. Geht man aber mit der Stromstärke weiter, so giebt die lange Strecke nun eine geringere Vermehrung des Tetanus als die kurze, ja bei noch weiterer Steigerung erhält man Verringerung des Tetanus von der langen, Vermehrung von der kurzen. Diese Vermehrung nimmt nun aber mit wachsender Stromstärke ab, sodass später sowohl von langer als kurzer Strecke der Tetanus aufgehoben wird. Anfangs, d. h. bei noch relativ geringeren Stromeskräften, kommt dem durch die kurze Strecke fliessenden Strome eine geringere deprimirende Wirkung zu als demjenigen, welcher durch die lange geleitet wird. Später heben beide polarisirte Strecken den Tetanus absolut auf. Dieses Verhalten bleibt dann bestehen, mögen auch die Stromstärken noch so sehr weiter wachsen.

Als Controlversuch ist hier derjenige zu erwähnen, welcher zu beweisen hat, dass wir nicht durch die tetanisirende Wirkung des Stromes getäuscht worden seien. Dies geschieht einmal so, dass dieses Verhalten sich auch bei so wenig langen Strecken herausstellt, welche noch keinen Tetanus geben, wovon man sich durch einen Vorversuch überzeugt. Eine andere Methode bestand darin, dass ich, nachdem soeben die hohen Stromstärken angewandt worden waren, welche den vorhandenen Tetanus beseitigt hatten, wieder mit niederen Stromkräften prüfte, welche denselben verstärkten, darauf aber den Nerven zwischen Tropfen und Electroden durchschnitt, wo alle Stromstärken ohne Tetanus ertragen werden mussten, wenn der Versuch beweisend sein sollte. Auf diese Weise kam ich denn zur Ueberzeugung, dass das erlangte

Digitized by Google

Resultat nicht in der tetanisirenden Wirkung des constanten Stromes seinen Grund habe.

Hiermit dürfte der Verlauf unserer Curve denn auch mit Hülfe der chemischen Reizung erwiesen sein. — Wir wenden uns deshalb jetzt zu dem letzten Kapitel dieses Abschnittes.

Kapitel V.

Untersuchung der Abhängigkeit des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Zeit.

Eine Reihe der wichtigsten und interessantesten Probleme knüpft sich an die Abhängigkeit des aufsteigenden Katelectrotonus von der Zeit. Mit welcher Geschwindigkeit pflanzt sich jener wunderbare Zustand aus der intrapolaren Strecke in aufsteigender Richtung fort? — In welcher Zeit nach Schliessung des constanten polarisirenden Stromes erreicht er in einem Punkte, der um irgend eine gegebene Grösse von der negativen Electrode entfernt ist, eine gewisse Stärke? Oder mit anderen Worten: wie sieht die Curve aus, welche die Stärke dieses Zustandes als Function der Zeit darstellt, sein Anwachsen also wiedergiebt? — Wie unterscheidet sich ferner dieses Anwachsen für Punkte verschiedener Entfernung von der negativen Electrode? — Wie für verschiedene Stromstärken? — Wie endlich unterscheiden sich diese Gesetze am frischen, am ermüdeten und am modificirten Nerven? — Wie lange dauert bei fortdauernder Schliessung des constanten Stromes dieser veränderte Zustand an? — Nach welchem Gesetze ist er während dessen in Abnahme begriffen? — Endlich aber: wie gestalten sich alle jene bei der Schliessung des constanten Stromes angezogenen Gesetze bei der Oeffnung desselben? Oder mit anderen Worten: wie klingen die katelectrotonischen Veränderungen ab, bis der Nerv wieder in seinen ursprünglichen Zustand zurückgekehrt ist?

Ein grosser Theil dieser an sich so sehr wichtigen, so äusserst interessanten Probleme bleibt zur Zeit durchaus un-

gelöst. Die schwachen Methoden, die wir besitzen, würden den Verwickelungen und Schwierigkeiten gegenüber, welche hier auftreten, sich sofort bescheiden müssen. Gleichwohl ist aber doch für einzelne der angeregten Probleme bereits jetzt eine erfolgreiche Behandlung möglich.

In Uebereinstimmung mit dem, was Helmholtz bereits gefunden, in Betreff der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der säulenartigen Polarisation durch den Nerven, welche von einerlei Grösse zu sein scheint mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung selbst, tritt auch die katelectrotonische Veränderung mit wunderbarer Schnelle bei jeder Stromstärke ein. Ich halte es indess für möglich, die Zeit zu bestimmen, innerhalb welcher sie bereits in merkbarer Grösse vorhanden ist. Leider habe ich keine Musse gefunden, auch diese Frage zu entscheiden, deren Beantwortung selbst wieder eine grosse Untersuchung darstellen würde. Doch will ich hier auf die ohne Weiteres nicht ersichtlichen Methoden hinweisen, welche seiner Zeit dienen können, das Problem zu lösen. Man müsste den polarisirenden Strom möglichst tief durch den Ischiadicus schicken und eine Stromstärke wählen, welche noch keine Zuckung erzeugt. Bekanntlich lassen sich ja bereits bei diesen die Erregbarkeitsveränderungen in bedeutendem Grade nachweisen. Eine gegebene kleine Zeit nach Schliessung des constanten Stromes müsste der Inductionsschlag dann die zu reizende Nervenstelle durchsetzen. Wie man also sieht, scheint der Ausführbarkeit dieses Verfahrens keine unübersteigbare Schwierigkeit entgegenzustehen. Soviel lässt sich indessen bereits ohne alle feineren Hülfsmittel wahrnehmen, dass sehr kurze Zeit nach erfolgter Schliessungszuckung der katelectrotonische Zustand noch nicht sein Maximum erreicht hat, da man gewöhnlich bei dauernder Schliessung anfänglich keine so bedeutende Verstärkung der Zuckung wahrnimmt als nachher. Gleichwohl aber ist dieser Unterschied klein und durchaus nicht besonders auffallend. Ebenso verhält es sich, wenn der Strom diejenige Grösse überschreitet, bei welcher man oberhalb der negativen Electrode die Erregbarkeit erhöhet findet. Anfänglich kommt dann demselben

Digitized by Google

Strome eine geringere lähmende Kraft zu als nachher, wenn er länger geschlossen ist. Dieser Umstand ist bereits auffallender.

Lässt man aber den Strom länger fortdauernd geschlossen und prüft von Zeit zu Zeit die katelectrotonisirte Stelle, so ist das Verhalten verschieden, je nach der Stromstärke, welche angewandt worden ist. Hatte man diejenige gewählt, welche die Erhöhung der Erregbarkeit bei Reizung oberhalb der negativen Electrode sehr deutlich zeigt, so kann man bis zu 25 Minuten geschlossen lassen, ohne dass sich viel bei kräftigen Nerven ändert; jene Erhöhung ist nur ein wenig schwächer geworden. War aber die Stromstärke nahe derjenigen, bei welcher die Function ihr Zeichen umkehrt, so wird man anfangs positiven und nach einigen Minuten Schliessung negativen Zuckungszuwachs wahrnehmen, welcher bei fortdauernder Schliessung sich immer mehr ausbildet. Brachte aber die Stromstärke gleich anfangs negativen Zuckungszuwachs hervor, so tritt dieser nun immer kräftiger auf, je länger geschlossen bleibt, was natürlich darin seinen Grund hat, dass der starke Strom den Nerven bald leitungsunfähig macht und zerstört.

Sobald man die Kette öffnet, verschwindet der bestehende Zustand, wie es scheint, augenblicklich; hierfür spricht zunächst die secundäre Oeffnungszuckung vom Nerven aus. Bei Untersuchung der Erregbarkeit auf der vorher katelectrotonisirten Strecke kann man indessen an dieser Ansicht irre werden. Es wird nämlich der Schein entstehen, als hinterbleibe immer nach jeder Schliessung ein Theil des erzeugten Katelectrotonus im Nerven zurück und verschwinde erst nach sehr langer Zeit, d. h. nach vielen Minuten, wieder ganz aus demselben; denn man findet auch nach der Oeffnung noch die Erregbarkeit erhöht.

So sinkt z. B. bei dem durch den aufsteigenden Strom mit Hülfe chemischer Reizung herbeigeführten Tetanus der Muskel augenblicklich herab, wenn der Strom unterbrochen wird. Gleichwohl aber bezeichnet jenes Herabsinken nicht ein voll-

kommenes Aufhören des Tetanus, welcher in geringerer Stärke noch eine Weile anhält und nur allmälig verschwindet.

Nichtsdestoweniger halte ich aus folgenden Gründen diese rückbleibende Erhöhung der Erregbarkeit nicht unmittelbar bedingt durch ein theilweises Rückbleiben des Katelectrotonus. Zunächst und erstens hat du Bois-Reymond nachgewiesen, dass nach der Oeffnung des „erregenden“ Stromes keine Spur des Zuwachses mehr in der extrapolaren Strecke nachweisbar sei. Da es nun kaum bezweifelt werden kann, dass die am Multiplicator nachweisbaren electromotorischen Erscheinungen in wesentlicher und tiefer Beziehung stehen zu jenen Aenderungen der Erregbarkeit, so ist es wieder schwer anzunehmen, dass die letzteren mit Wegfall der erzeugenden Ursache genau wie vorher, wenn auch etwas schwächer, weiter bestehen, die anderen aber durchaus verschwinden. Das ist indessen nicht der einzige Grund; ein zweiter, vielleicht noch eindringlicherer, entspringt aus der Thatsache, dass auch auf der Region des positiven Pols, im Bereiche des Anelectrotonus, wo während der Stromesdauer die Erregbarkeit stets stark herabgesetzt ist, nach dem Oeffnen des Kreises augenblicklich ebenfalls eine ganz bedeutende Erhöhung derselben auftritt. Bringt man nun endlich und drittens noch in Anschlag, dass, wie ich gefunden habe und hier einstweilen andeuten will, die Bewegungserscheinungen des Anelectrotonus viel langsamer als die des Katelectrotonus stattfinden, so ist es gewiss schwer sich zu denken, dass während auf den früher anelectrotonisirten Stellen ein neuer eigenthümlicher Zustand sofort bei der Oeffnung des Kreises auftritt, in den früher katelectrotonisirten dies nicht der Fall ist, weil ein Theil des Katelectrotonus zurückbleibt. Diesen Gründen werde ich alsbald noch einen hinzufügen, welcher zwar an sich auch nicht ganz vollkommen beweisend ist, gleichwohl mir aber so gewichtig scheint, dass er im Verein mit den anderen unserer Auffassung vor der Hand und wohl auch für länger die Ueberlegenheit über die gegentheilige Meinung zusichern dürfte.

Ich wende mich demgemäss nunmehr zur Darstellung der besonderen Erscheinungsweisen, nach welchen der extra-

Digitized by Google

polare aufsteigende Katelectrotonus abklingt. Wie man sogleich wieder a priori übersieht, kommen hier eine beträchtliche Menge von Variabelen in Betracht. Die hauptsächlichsten beziehen sich auf die angewandte Stärke des modificirenden Stromes und auf die Dauer seiner Schliessung. Sodann aber ist für beide Variabelen wiederum zu beachten, ob wir es mit einem ganz frischen oder bereits modificirten Nerven zu thun haben.

Die Untersuchung selbst ist im Speciellen nicht so complicirt, wie diejenige, welche sich auf die während der Stromesdauer auftretenden Veränderungen bezieht, und zwar deshalb, weil wir hier einmal die Einmischung der vom Electrotonus herrührenden Ströme nicht zu befürchten haben, und ausserdem in electrischer Beziehung die Umstände bei Reizung vor Schliessung des constanten Stromes und nach Oeffnung desselben absolut identisch sind. Letzteres kann leider bei der Untersuchung der Veränderungen während der Stromesdauer nicht so ohne Weiteres behauptet werden, weshalb Controlversuche die eingeführten Fehler berechnen müssen und in Abrechnung zu bringen haben. Statt dieser dort fortfallenden Schwierigkeiten treten aber hier neue auf, welche jenen vielleicht gleich kommen. Wenn man nämlich das Abklingen der durch den Katelectrotonus bedingten Veränderungen nach der Zeit verfolgen will, so mischen sich nothwendig in die erhaltenen Resultate zwei Umstände ein, welche nicht zu beseitigen sind. Es ist das erstens diejenige Modification, welche der reizende Strom an sich hervorbringt. Sie addirt sich zu der bereits vorhandenen, sodass die späteren Reizungen nur die Erfolge aus der Superposition des Abklingens mehrerer Modificationen bezeichnen können. Ausserdem aber dauert das Abklingen oft so lange, dass eine Einmischung des Ritter-Valli'schen Gesetzes zu befürchten ist, welches selbst noch nicht genau genug bekannt ist, um scharf in Rechnung gezogen werden zu können. Jedenfalls würde man, wie ich glaube, keine correcte Vorstellung von demselben haben, wenn man sich dächte, der Nerv nähme mit der Zeit auf allen Punkten an Erregbarkeit ab. Mit Bezug auf die Auf-

Digitized by Google

fassung des Valli-Ritter'schen Gesetzes aber möge hier noch die Meinung eine Stelle finden, der zufolge dasselbe nicht aufzufassen ist als ein Absterben des Nerven vom Ursprung nach der Ausbreitung, sondern von einem abgestorbenen oder blossliegenden Querschnitte nach solchen Theilen, die es nicht sind. Es scheint mir also ein ausgeschnittener Ischiadicus von beiden Querschnitten aus abzusterben, sodass demnach der mittlere Theil am längsten seine Lebenseigenschaften bewahrt, nicht aber vom Ursprung nach der Ausbreitung, wie man jetzt meistens anzunehmen pflegt.

Jenen beiden angeführten Fehlerquellen nun, welche sich in das Studium der Modificationen einmischen und dasselbe erschweren, suchte ich durch folgende Methode zu entgehen.

Was zunächst die durch die prüfende Reizung herbeigeführte Modification bedingt, so eliminirte ich sie möglichst dadurch, dass ich als Reizmittel mich des Schliessungsinductionsstromes, und zwar von äusserster Schwäche, bediente, nachdem ich mich vorher überzeugt hatte, welche Wirkungen öfter wiederholte Reizungen mit demselben hervorbringen. Die Untersuchung ergab nun, dass man mehr denn 20 Zuckungen hinter einander nehmen kann, ohne dass sich die schwache Zuckung um eine hier irgend in Betracht kommende Grösse ändert.

Der Einmischung des Valli-Ritter'schen Gesetzes aber wich ich dadurch aus, dass ich das Abklingen des Katelectrotonus an demselben Nerven mehrmals hinter einander beobachtete, wo denn immer dieselbe Succession der Erscheinungen auftrat.

Mit diesen Vorsichtsmaassregeln ergeben sich denn folgende Normen. Doch erlaube man mir vorerst, ehe wir zur Darstellung der Versuche übergehen, hier eine einfache Nomenclatur vorzuschlagen. Ich umfasse demnach das ganze hier in Betracht kommende Gebiet der veränderten Erregbarkeit nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes unter der bereits gebräuchlichen Bezeichnung der Modification des Nerven durch den constanten electrischen Strom. Ich nenne die Modification positiv, wenn die Erregbarkeit

nach der Oeffnung des Stromes erhöht ist; ich nenne sie negativ, wenn das Umgekehrte stattfindet.

Die specielle Ausführung der Versuche geschieht nun im Wesentlichen wie bisher. Dicht über dem Musculus gastroknemius, in einer Entfernung von 5—8 Mm. von demselben, liegt dem Nervus ischiadicus das Eiweisselectrodenpaar an, welches den constanten Strom dem Nerven zuführen soll. Zur Abstufung der Stromstärken bedienen wir uns des grossen Neusilberrheochords, welcher mit einer Säule von 6 Groveschen Elementen in Verbindung gesetzt ist. Mit dieser Stromstärke reicht man im Allgemeinen aus, um alle Erscheinungen wahrzunehmen, welche von ihr abhängen; denn ich habe mich überzeugt, dass ich niemals neue Erscheinungen zu sehen bekam, mochte ich 5 oder 15 Grove nehmen. Letztere zerstören natürlich ungemein schnell die durchflossene Strecke, lehren aber nicht mehr als bedeutend schwächere Ströme. Oberhalb des Electrodenpaares für den constanten modificirenden Strom liegt in einer Entfernung von 8 Mm. dasjenige des reizenden Stromes. Es ist ebenfalls unpolarisirbar. Wir bringen nun zunächst mit Hülfe des reizenden Stromes eine schwache Zuckung hervor, welche die Zeichenspitze auf die Tafel des Myographions aufschreibt. Dann schliessen wir den constanten Strom während 1 bis 2 Secunden und reizen darauf in Intervallen von 5 bis 10 Secunden den Nerven wieder von derselben früheren Stelle mit demselben Inductionsstrome wie vorher. Ich will hier den Leser nicht mit Wiedergabe der Tabellen behelligen, welche auch das Werk zu sehr ausdehnen würden, sondern nur in Kurzem die Resultate wiedergeben, welche aus den gemessenen Werthen folgen. Ich kann dies hier darum um so mehr thun, als die in diesen Versuchsreihen sich aussprechenden Gesetze nicht merkbar sich von denen unterscheiden, welche sich auf das Abklingen des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus beziehen und am betreffenden Orte mitgetheilt werden sollen.

Untersucht man nun also die Erregbarkeit etwa 10 Secunden nach Oeffnung des modificirenden Stromes, welcher 1—2 Secunden geschlossen gewesen war, so findet man die-

selbe stets verändert, und zwar erhöht. Es hinterlässt der Katelectrotonus also die positive Modification. So lange man es mit einem frischen, noch nicht modificirten Nerven zu thun hat, tritt dies Resultat vollkommen constant ein, welches auch die Stromstärke war, der man den Nerven aussetzte. Es versteht sich wohl von selbst, dass ich natürlich hier diejenigen Stromstärken ausschliesse, welche bereits in dieser kurzen Zeit den Nerven verbrennen und zerstören. Denn ihre Wirkung würde hier keine andere sein als die eines Schnittes, welcher die Continuität aufhebt, in welchem Falle also die Erscheinungen mit einer negativen Modification nicht verglichen werden können. Gleichwohl gilt das ausgesprochene Gesetz selbst dann noch, wenn man Ströme anwendet, welche in 10—20 Secunden den Nerven zerstören. Soll indessen bei diesen noch das Gesetz scharf heraustreten, so muss man ihre Dauer möglichst beschränken, also nur 1 Secunde, ja nur einen Bruchtheil derselben wählen. Was nun die Stärke der erwähnten positiven Modification als Function der Stromstärke betrifft, so wächst dieselbe fortwährend mit dieser. Es lassen sich die positiven Modificationen mit Strömen von äusserster Schwäche nachweisen, welche bereits keine Zuckung mehr bewirken. Gleichwohl ist hervorzuheben, dass die Wirkungen des Stromes während seiner Dauer noch bei geringeren Stromstärken deutlich dargethan werden können. Wenn aber diese letzteren grösser sind, sodass sie die dritte und höheren Stufen des Zuckungsgesetzes geben, so ist die Stärke der positiven Modification ganz gewaltig. Denn derselbe Inductionsstrom, welcher vor Schliessung des constanten modificirenden Stromes keine Wirkung hervorbrachte, erzeugt jetzt das Zuckungsmaximum. Mit furchtbarer Kraft zuckt der Muskel, als hätte man den Reiz um Vieles verstärkt; gleichwohl ist der Reiz derselbe wie früher geblieben. Fragt man nun, wie lange dieser neue wunderbare Zustand der positiven Modification anhält, so ergiebt sich bei genauer Untersuchung eine Abhängigkeit dieser Dauer von der Stromstärke. Bei geringen Stromeskräften nämlich, ich meine solchen, welche eben die erste Stufe des Zuckungsgesetzes geben oder besser

Digitized by Google

gar keine Zuckung, verschwindet die positive Modification in 30 Secunden bis 2 Minuten, nach welcher Zeit die Zuckungen wieder so stark sind, wie vor der Schliessung des modificirenden Stromes. Waren aber die Stromstärken bedeutender, sodass sie die dritte und höheren Stufen des Zuckungsgesetzes gaben, so dauert die positive Modification länger an und scheint oft noch nach 10—15 Minuten vorhanden zu sein, da die Zuckung nicht zu ihrem alten niedrigen Werthe zurückkehren will. Dieses Abklingen des Katelectrotonus lässt sich an demselben Nerven 10—12 mal und mehr beobachten; doch mischt sich später oft eine neue Erscheinung ein, von welcher wir sofort handeln wollen.

Ich habe nämlich vorher gesagt, dass man etwa 10 Secunden nach Oeffnung des modificirenden Stromes den Nerven in positiver Modification befindlich vorfinde. Untersucht man denselben aber etwas kürzere Zeit nach der Oeffnung, so wird man nicht selten die positive Modification sehr schwach finden, ja sogar vermissen, selbst bei Stromstärken, welche sie sonst ganz deutlich hervorbringen. Das ist bei schwächeren Strömen, solchen nämlich, welche die erste Stufe des Zuckungsgesetzes geben, eine ganz gewöhnliche Erscheinung, während sie bei stärkeren nur dann zuweilen beobachtet werden kann, wenn man so geschwind nach der Oeffnung des Stromes untersucht, als es irgend angeht. Prüft man aber nach Oeffnung eines modificirenden schwachen Stromes den Nerven noch geschwinder, so wird man nun ganz gewöhnlich die wunderbare Thatsache finden, dass der Nerv in negativer Modification begriffen sei. Weil bei den schwachen aufsteigenden Strömen und frischen Nerven keine Oeffnungszuckung vorhanden ist, kann man die Prüfung der Modification so äusserst rasch nach erfolgter Oeffnung vornehmen. Durch eine mechanische Vorrichtung bewirkte ich dann, dass zu derselben Zeit, wo ich den modificirenden Strom unterbrach, der Hammer des electro-magnetischen Fallapparates losfiel. Die Zeit, welche also verfloss, war nicht grösser als diejenige, innerhalb welcher die Intensität des Magnetismus abnahm bis zu solcher Grösse, dass sie dem schweren Gewichte

des Hammers gleich kam, wozu noch die Zeit zu rechnen ist, innerhalb welcher ein Körper einen Zoll Raum durchfällt, wenn er mit der Anfangsgeschwindigkeit Null beginnt. Die gleichzeitige Unterbrechung des modificirenden und die Eisenkerne des electro-magnetischen Fallapparates umkreisenden Stromes wurde dadurch ermöglicht, dass letzterer ein Stromzweig des Hauptstromes war, welcher nach dem Rheochord ging, der auch zur Regulirung der Stärke des modificirenden Stromes diente. Es konnten mithin beide Ströme absolut gleichzeitig unterbrochen werden. Auf diese Weise überzeugt man sich nun von dem allgemeinen Gesetze, dass dem Verschwinden des Katelectrotonus sehr rasch eine Phase negativer Modification nachfolgt, welche aber mehr oder weniger schnell dann in die positive Modification übergeht. Letztere ist träge; denn wenn sie auch wohl schnell anwächst, so nimmt sie doch nur sehr langsam wieder ab, sodass man ihr Abklingen mit aller Musse studiren kann. Hiermit dürfte denn die Ansicht noch fester begründet sein, dass die positive Modification nicht einem theilweisen Rückbleiben des Katelectrotonus ihren Ursprung verdankt. Wie nun die Dauer der positiven Modification mit der Stromstärke wächst, so scheint die der negativen abzunehmen; denn je stärker der Strom ist, um so schneller muss man sein, um dieselbe noch zu erhaschen; ja wenn der Strom eine gewisse Grösse überschreitet, also die dritte und höheren Stufen des Zuckungsgesetzes giebt, wird man nur schwer einmal dann und wann bei äusserst schneller Reizung nach der Oeffnungszuckung noch eine Spur der negativen Modification wahrnehmen, welche rasch durch gewaltige positive verdrängt wird, die nun in den Nerven hereinbricht. Ja sogar das Anwachsen der positiven Modification ist bei hohen Stromeskräften schwer zu beobachten. Gleichwohl gelingt es aber mit Hülfe eines besonderen Kunstgriffes auch hier noch einmal, freilich nur für einen speciellen Fall, das Gesetz zu beobachten. Bei der hohen Gesetzmässigkeit, welche in diesem hier behandelten Gebiete herrscht, schien es mir nun, als dürfe ich aus den beobachteten Thatsachen den sehr wahrscheinlichen Schluss ziehen, dass bei jeder Stromstärke

der Katelectrotonus niemals direct in die positive Modification übergehe, sondern dass zwischen beiden stets das Stadium der negativen Modification liege, welches bei hohen Stromeskräften nur sehr an zeitlicher Dauer abnehme, weil die Kräfte, welche die positive Modification bedingen, in so raschem Maasse mit der Stromstärke wachsen. Aus diesem Grunde schlug ich den folgenden Weg ein. Ich schloss den modificirenden Strom eine Secunde und schwächte nach der Oeffnung dann die Reizung schnell ab, sodass trotz der gewaltigen positiven Modification doch nur eine spurweise Zuckung eintrat. Darauf modificirte ich abermals, wodurch die spurweise Zuckung nunmehr wieder zum Zuckungsmaximum gebracht war. So trieb ich 4—6 mal die Erregbarkeit so weit hinauf, bis ich bemerkte, dass eine abermalige Schliessung von 1 Secunde Dauer nur noch wenig Wirkung in positiver Richtung hervorbringe. Hierdurch waren nun offenbar diejenigen Kräfte begünstigt, welche die negative Modification erzeugen. Reizte ich nun schnell nach der Oeffnungszuckung, so war nun in der That die negative Modification sichtbar geworden, der sich aber bald wieder eine nunmehr nur schwache positive Modification anschloss. Man könnte nun versucht sein, diese negative Modification aus einem Ueberdauern der herabgesetzten Erregbarkeit abzuleiten, welche in der intrapolaren Strecke vorhanden ist und die Leitung noch einige Zeit unterbricht. Dagegen ist einzuwenden, dass nach so kurzen Schliessungen mit den angewandten Stromeskräften die Erregbarkeit noch nicht so stark verändert wird, dass sie die Oeffnung des Stromes überdauert, wie ich mich durch Controlversuche überzeugt habe; hauptsächlich aber und ganz besonders, dass bei absteigendem Katelectrotonus, wo doch dieser Einwand nicht gemacht werden kann, dasselbe Verhalten beobachtet wird.

Für das Abklingen des Katelectrotonus können wir demnach das Gesetz aufstellen, dass derselbe mit der Oeffnung der Kette rasch durch einen kurz dauernden Zustand negativer Modification in die länger dauernde positive Modification übergehe, welche

langsam dem natürlichen Zustande der Nerven Platz macht.

Man könnte nun vielleicht der Ansicht sein, wie von uns der Beweis nicht geliefert worden sei, dass die Modification in der That ihre Ursache nur in dem vorangegangenen Katelectrotonus, nicht aber in der bei der Schliessung des Stromes stattgefundenen Reizung ihren eigentlichen Grund habe. Dagegen spricht aber die bei schwachen Strömen regelmässig augenblicklich nach der Oeffnung vorhandene negative Modification, welche doch so schnell wieder verschwindet, mag nun die Schliessung des modificirenden Stromes 1, 2 oder selbst 5 und 10 Sekunden gedauert haben. Dass aber endlich der Erfolg am Muskel hier wirklich einen Zustand der gereizten Stelle angiebt, was ja nicht so ohne Weiteres behauptet werden kann, dafür spricht das durchaus verschiedene Ergebniss, welches man bei Untersuchung des ab- und aufsteigenden abklingenden Anelectrotonus beobachtet, während für den absteigenden Katelectrotonus dieselben Gesetze wie für den aufsteigenden zu verzeichnen sind.

Endlich aber ist hier noch die wichtige Thatsache hervorzuheben, dass die Modification in der Nähe des polarisirenden Stromes viel stärker ist, als in grosser Ferne. Denn bei den früheren Versuchen wurde ich bei Reizungen in der Ferne fast gar nicht beeinträchtigt durch solche Störungen, was aber in der Nähe der Fall war, wo ich fast fortwährend die Reizstärke compensiren musste, um die Zuckung in nahezu gleicher Grösse zu erhalten.

Ehe wir diesen Gegenstand verlassen, bleibt mir noch einiges Wenige zu sagen übrig über den Einfluss der Stromesdauer auf die allgemeinen Gesetze der Modificationen. Für schwächere Ströme, d. h. für solche, welche die ersten Stufen des Zuckungsgesetzes geben, darf ich behaupten, dass die Gültigkeit der oben ausgesprochenen Principien für das Abklingen des Katelectrotonus auch dann gültig bleibe, wenn die Schliessungsdauer des modificirenden Stromes die oben angegebene beträchtlich übersteigt, d. h. sich bis zu 1 und mehren Minuten erstreckt. Für längere Schliessungen aber

Digitized by Google

treten nun zwei Umstände auf, welche die Erforschung der Modificationsgesetze ausserordentlich erschweren. Es ist dies erstens der Oeffnungstetanus und zweitens die Veränderung der Erregbarkeit, welche mittlerweile das Präparat vielleicht auch ohne Einwirknng des Stromes erfahren haben würde. Ich muss deshalb diesen Punkt vor der Hand auf sich beruhen lassen. Nur für stärkere Ströme lässt sich leichter der Einfluss der Stromesdauer auf die Modificationen nachweisen. Ueberschreitet diese nämlich eine gewisse Grenze, so tritt auch bei diesen Stromeskräften am frischen Nerven die negative Modification auf, welche aber bei nicht zu langer Schliessung der positiven Modification weicht. Lässt man jedoch den modificirenden Strom noch länger geschlossen, so ist nach der Oeffnung desselben eine sehr starke negative Modification vorhanden, welche zwar etwas aber nur sehr langsam abnimmt und nun nicht mehr der positiven Platz macht. Diese Erscheinungsweise hat nun, wie ich glaube, nicht in der extrapolaren sondern intrapolaren Strecke ihren Grund; darum nämlich, weil erstens die intrapolare nunmehr durch den Strom bedeutend verändert ist und sehr an Erregbarkeit abgenommen hat, wie die Prüfung derselben ergiebt, und zweitens weil beim absteigenden Katelectrotonus nichts Aehnliches bei langer Schliessung eines starken Stromes beobachtet wird. Der absteigende Katelectrotonus befolgt aber doch sonst genau dieselben Gesetze wie der aufsteigende.

Ich beschliesse hiermit die Untersuchung des extrapolaren aufsteigenden Katelectrotonus und wende mich nunmehr zur Erforschung des extrapolaren absteigenden Anelectrotonus.

Digitized by Google

Abschnitt III.

Untersuchung der Veränderung der Erregbarkeit hinter dem aufsteigenden Strome.

Nachdem die Untersuchung des Katelectrotonus nach seinen verschiedenen Variabeln möglichst genau dargestellt worden ist, und der Leser die Methode kennen gelernt hat, kann ich mich jetzt wohl etwas kürzer fassen, was um so eher gestattet sein dürfte, als die mitzutheilenden Resultate weniger auffallend sind und nicht mitunter paradox erscheinen, wie dies doch in gewisser Beziehung beim aufsteigenden Katelectrotonus der Fall war und wieder beim aufsteigenden Anelectrotonus eintreten wird.

Kapitel I.

Nachweisung des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus.

Die Versuche, deren wir uns zur Nachweisung des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus bedienen werden, sind entweder mit Hülfe der Reizung einer Kette oder des Schliessungsinductionsstromes oder chemischer Agentien ausgeführt.

Was zuerst die Reizung mit Hülfe der Kette betrifft, so geschah ihre specielle Ausführung folgendermaassen. Am plexus sacralis oder unterhalb des Abganges der Oberschenkeläste wird das Electrodenpaar angelegt, welches den im

Digitized by Google

strengen Sinne constanten Strom dem Nerven zuführen soll. Unterhalb desselben in einer Entfernung von 8—10 Mm. wird das Electrodenpaar für den reizenden Strom angebracht. Dieser aber soll mit Hülfe des electro-magnetischen Fallapparates in Quecksilber geschlossen werden. Seine Richtung im Nerven muss die aufsteigende sein. Diese Bedingung findet nicht darum statt, weil der Versuch bei absteigendem reizenden Strome anders ausfiele, sondern weil derselbe sonst keine beweisende Kraft haben würde. Da wir nämlich die Zuckungsstärke, welche von dem nicht polarisirten Nerven aus erhalten wird, vergleichen wollen mit derjenigen, welche der gereizte polarisirte Nerv hervorbringt, so ist es natürlich vor Allen Dingen nothwendig, dass in beiden Fällen der stärkeren Zukkung eine Reizung mit einem stärkeren Strome nicht zu Grunde liege. Hier nnn wollen wir während des Electrotonus eine schwächere Zuckung beobachten, als bei gewöhnlichem Zustande des Nerven. Es muss mithin bei der Reizung des polarisirten Nerven der reizende Strom dem vom Electrotonus herrührenden gleichgerichtet sein. Denn auf diese Weise addiren sich beide Stromstärken bei der Schliessung und man beobachtet gleichwohl eine schwächere Zuckung, sodass dann a fortiori auf die herabsetzende Wirkung des Stromes geschlossen werden kann. Ich gebe nun als Beleg zunächst einen Versuch, an welchem die Grösse der Wirkung, welche bisher unbekannt war, recht auffallend ist.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	6,8 Mm.	2	0,0 Mm.
3	7,3 -	4	0,0 -
5	7,3 -	6	0,0 -
7	7,3 -	8	0,0 -
9	7,7 -	10	0,0 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
11	7,7 Mm.	12	0,0 Mm.
13	7,8 -	14	0,0 -
15	7,8 -	16	0,0 -
17	7,8 -	18	0,0 -
19	8,0 -	20	0,0 -
21	7,9 -	22	0,0 -
23	7,9 -	24	0,2 -
25	7,9 -	26	0,2 -
27	7,9 -	28	0,2 -
29	7,9 -	30	0,0 -
31	8,0 -	32	0,0 -
33	8,0 -	34	0,0 -
35	8,0 -	36	0,0 -
37	8,0 -	38	0,0 -
39	7,9 -	40	0,0 -
41	7,9 -	42	0,0 -
43	7,9 -	44	0,0 -
45	8,0 -	46	0,0 -
47	8,0 -	48	0,0 -

Nunmehr wurde der Nerv zwischen beiden Electrodenpaaren durchschnitten und wieder zusammengeklebt, ohne dass die auf den Electroden liegenden Theile verschoben wurden, und dann der Versuch fortgesetzt:

49	8,0 Mm.	50	8,0 Mm.

Hierauf wurde die Reizung geschwächt, weil möglicherweise 8,0 Mm. das Zuckungsmaximum war. Es ergab sich:

51	3,5 Mm.	52	3,5 Mm.

Die Specialbedingungen dieses Versuchs waren: Abstand der Electrodenpaare = 5 Mm., Länge des Musculus gastroknemius = 35 Mm. Die constante Ablenkung der Multiplicatornadel betrug bei halber Länge nur 10°.

Ich übergehe hier die abermalige Darlegung der zur Widerlegung von Stromschleifen nothwendigen Controlversuche. Sie sind nach jedem Versuche genau so angestellt worden, wie dies im zweiten Abschnitte dargestellt ist.

Ich wende mich nunmehr zur Nachweisung des anelectrotonischen Zustandes mit Hülfe des Schliessungsinductionsschlages, welchen wir wiederum in aufsteigender Richtung durch den Nerven senden, also in gleicher Richtung mit dem Strome des Electrotonus. Ich theile zunächst als Beweis einen Versuch mit und werde die bei demselben zu berücksichtigenden Fehlerquellen sodann discutiren.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	10,4 Mm.	2	0,0 Mm.
3	10,0 -	4	0,0 -
5	10,7 -	6	0,0 -
7	10,5 -	8	0,0 -
9	10,5 -	10	0,0 -
11	10,7 -	12	0,0 -
13	10,7 -	14	0,0 -
15	10,5 -	16	0,0 -
17	9,6 -	18	0,0 -
19	9,2 -	20	0,0 -
21	9,7 -	22	0,0 -
23	9,1 -	24	0,2 -
25	9,1 -	26	0,3 -
27	9,2 -	28	0,2 -
29	8,6 -	30	0,1 -
31	9,0 -	32	0,1 -
33	9,1 -	34	0,1 -
35	8,8 -	36	0,2 -
37	8,9 -	38	0,1 -

Zahl der Zuckung.	Grösse der Zuckung bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Grösse der Zuckung bei polarisirten Nerven.
39	9,2 Mm.	40	0,2 Mm.
41	8,6 -	42	0,5 -
43	8,8 -	44	0,6 -

Die Specialbedingung dieses Versuchs war: der Abstand der Electrodenpaare betrug 7 Mm. Das Electrodenpaar für den polarisirenden Strom lag dicht unter dem Abgange der Oberschenkeläste. Die constante Ablenkung der Multiplicatornadel durch den polarisirenden Strom betrug bei halber Länge 28°. Die Länge des Musculus gastroknemius war = 34 Mm.

Ausser den bereits vorher und im zweiten Abschnitte discutirten Fehlerquellen, über welche stets Controlversuche angestellt wurden, bleibt uns hier bei Reizung mit dem Inductionsstrome noch eines besonderen Umstandes zu gedenken, welcher sich auf die Verschiebung der Curve des reizenden Stromes bezieht, wenn derselbe den polarisirten Nerven durchsetzt. Bereits vor Erregung des Inductionsstromes kreist durch die secundäre Spirale der Strom des Electrotonus, von dessen Höhe aus sich der Inductionsstrom erhebt. Man könnte nun glauben, dass diese Verschiebung der Curve des reizenden Stromes im Sinne der positiven Coordinatenaxe bereits die Ursache der während des Electrotonus beobachteten schwächeren Zuckung enthalte, da ja in der That bei ausreichender Verschiebung derselben ein solcher Erfolg wahrgenommen werden kann. Es braucht sich dann also gar kein Zustand veränderter Erregbarkeit aus der intrapolaren nach der extrapolaren Strecke in absteigender Richtung fortzupflanzen, sondern nur jene am Multiplicator wahrnehmbare Veränderung der electromotorischen Kräfte. Dieser Einwand lässt sich indessen durch die Bemerkung widerlegen, dass jener Erfolg der Verschiebung der Curve des reizenden Stromes erst dann beobachtet wird, wenn die Strom-

stärke eine relativ bedeutende Höhe erreicht, d. h. am Museumsmultiplicator bei halber Länge eine Ablenkung von 30 bis 40° zu Stande bringt. Unser Strom des Electrotonus ist aber unter diesen Umständen gar nicht mehr an dem Museumsmultiplicator bemerkbar. Der Einwand wird durch diese Bemerkung um so mehr widerlegt, als die unterhalb jener Grenze gelegene Stromstärke ja die Erregbarkeit des Nerven erhöht, sodass eine Verschiebung der Curve des reizenden Stromes anfangs nicht eine Verminderung, sondern Erhöhung der Zuckung zur Folge hat. Oder mit anderen Worten: wir werden später sehen, dass ein und dieselbe Stromschwankung stärkere Zuckungen hervorbringt, wenn sie zwischen absolut höheren Ordinaten vor sich geht, so lange nur der Werth dieser eine gewisse Grösse nicht überschreitet. Unser Versuch bewies also a fortiori das auszusprechende Gesetz, demzufolge der Anelectrotonus die Erregbarkeit herabsetzt.

Wir wenden uns nunmehr zur Darlegung desselben Gesetzes mit Hülfe der chemischen Reizung. Man könnte zwar auf Grund gewisser Vorstellungen, welche dahin gehen, dass jeder andere als der electrische Reiz den Nerven nur dadurch zu erregen vermag, dass er ihn zerstört, vermuthen wollen, wie hier die chemische Reizung unbrauchbar sei. Denn da diese zwischen Strom und Muskel angebracht werde, so würde bei jeder Reizung einer Primitivfaser die Continuität der Leitung unterbrochen, die Wirkung des polarisirenden Stromes also aufgehoben. Zum Theil ist allerdings etwas Wahres an dieser Vorstellung. Gleichwohl aber lässt sich anfangs, wenn die eigentliche Reizung beginnt, die Abnahme der Erregbarkeit durch den Electrotonus noch sehr gut constatiren. Man nimmt zu dem Ende eine Strecke von 10—12 Mm. in den Tropfen concentrirter Kochsalzlösung auf und wartet einige Zeit, bis der Tetanus ausbricht. Dies geschieht, weil die Strecke so lang genommen ist, obwohl sie dem Muskel ganz nahe liegt. Sobald nun dieser Zeitpunkt eingetreten, schliesst man den aufsteigenden Strom und augenblicklich ist jede Spur von Tetanus verschwunden. Bei weiterem Vorschreiten der Aetzung in die Tiefe der Primitivfaser wird aber in Zeit

einiger Minuten der Nerv in der That zerstört und mithin die Wirkung des polarisirenden Stromes aufgehoben, wie die Thatsachen beweisen.

Hier beim absteigenden Anelectrotonus, wo die der Faser parallele Richtung des reizenden Stromes, mag sie auf- oder absteigend sein, die Erregbarkeit herabgesetzt zeigt, war es von ganz ausserordentlichem Interesse zu erfahren, ob für den veränderten Nerven nunmehr vielleicht nicht die auf die Faser senkrechte Strömungsrichtung wirksam geworden wäre, weil eine Drehung der Molekeln stattgefunden habe. Von welchem theoretischen Interesse würde nicht der Nachweis geworden sein, dass für die senkrechte Erregung nunmehr die Erregbarkeit erhöht wäre? Die darauf hinzielenden Versuche, welche ich wiederum nach der Methode Galvani's mit Hülfe eines feuchten Fadens machte, über welchen der zu reizende Nerv senkrecht gelegt wurde, überzeugten mich aber, dass etwas Derartiges ganz entschieden nicht der Fall ist. Denn niemals erschien bei Querreizung des anelectrotonisirten Nerven eine Zuckung, wenn die Quererregung des im natürlichen Zustande begriffenen Nerven keine hervorbrachte; war aber bei diesem eine vorhanden, so verschwand sie bei Schliessung des Stromes augenblicklich. Das Resultat blieb unverändert, welches auch der Winkel war, den ich den Faden mit dem Nerven bilden liess, mochte ich hierdurch eine auf- oder absteigende Stromcomponente durch den Nerven senden. Wir kommen also auch hier zu dem Schlusse, dass jene Erregbarkeitsveränderungen nicht ihren Grund haben in einer wegen Drehung der Molekeln herbeigeführten Verkleinerung der wirksam werdenden Stromcomponente. In hohem Grade sprach gegen diese Auffassung bereits der Erfolg der chemischen Reizung.

Es scheint mir hiermit der absteigende Anelectrotonus und seine die Erregbarkeit herabsetzende Wirkung ausser Zweifel gestellt, wie ich denn auch bei dieser Thatsache mit Valentin und Eckhard durchaus übereinstimme.

Ohne mich deshalb bei deren Constatirung nunmehr noch länger zu verweilen, wende ich mich sofort zur Untersuchung

Digitized by Google

der Abhängigkeit des absteigenden Anelectrotonus von verschiedenen Bedingungen, die von Einfluss auf seine Stärke sind.

Kapitel II.

Ueber den Einfluss des Abstandes einer gegebenen Nervenstrecke von den Electroden des constanten Stromes auf die Stärke des extrapolaren absteigenden Anelectrotonus.

Die Resultate, zu welchen auch hier die Untersuchung führt, zielen wiederum sämmtlich dahin, dass die Stärke des Anelectrotonus um so grösser ausfällt, je näher die betrachtete Stelle der intrapolaren ist.

1. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der Mittelwerthe und des Reizes einer Kette.

Ich habe diese hier zunächst angewandte Methode der Mittelwerthe bereits vorher (s. pag. 186 u. flgd.) discutirt und kann mich deshalb einer abermaligen Darlegung derselben entschlagen.

Die Electroden des constanten polarisirenden Stromes lagen dicht unter dem plexus sacralis, weil eine grössere Annäherung an den Querschnitt sehr schnell dem Experimente wegen des raschen Absterbens von hier aus ein Ende macht und deshalb eine unerwünscht grosse Inconstanz nothwendig in die zu untersuchenden Phänomene einführt. Der Stärke des polarisirenden Stromes entsprach eine constante Ablenkung von 30°. Ich gehe nun zur Darlegung einiger Versuche über.

A. Versuche, bei denen der Abstand der Electrodenpaare = 6 Mm. gesetzt war.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	7,1 Mm.	2	0,0 Mm.
3	8,0 -	4	0,0 -
5	8,7 -	6	0,0 -
7	8,9 -	8	0,0 -
9	8,9 -	10	0,0 -
11	8,8 -	12	0,0 -
13	8,9 -	14	0,0 -
15	9,2 -	16	0,0 -
17	9,2 -	18	0,0 -
19	9,0 -	20	0,0 -
21	9,1 -	22	0,0 -
23	9,3 -	24	0,0 -
25	9,3 -	26	0,0 -
27	9,2 -	28	0,0 -
29	9,3 -	30	0,0 -
31	9,3 -	32	0,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 34 Mm.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	8,2 Mm.	2	0,0 Mm.
3	7,4 -	4	0,0 -
5	7,5 -	6	0,0 -
7	7,8 -	8	0,0 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
9	8,4 Mm.	10	0,0 Mm.
11	9,0 -	12	0,0 -
13	8,8 -	14	0,0 -
15	8,3 -	16	0,0 -
17	8,3 -	18	0,0 -
19	8,0 -	20	0,0 -
21	8,0 -	22	0,0 -
23	8,2 -	24	0,0 -
25	8,9 -	26	0,0 -
27	8,7 -	28	0,0 -
29	9,5 -	30	0,0 -
31	8,5 -	32	0,0 -
33	8,5 -	34	0,0 -
35	8,7 -	36	0,0 -

Länge des Musculus gastroknemius = 36 Mm.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	8,4 Mm.	2	0,0 Mm.
3	9,1 -	4	0,0 -
5	8,8 -	6	0,0 -
7	8,4 -	8	0,0 -
9	8,5 -	10	0,0 -
11	8,6 -	12	0,0 -
13	8,0 -	14	0,0 -
15	7,9 -	16	0,0 -
17	7,5 -	18	0,0 -
19	8,1 -	20	0,0 -
21	8,3 -	22	0,0 -
23	8,6 -	24	0,0 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
25	8,5 Mm.	26	0,0 Mm.
27	8,8 -	28	0,0 -
29	9,5 -	30	0,0 -
31	9,6 -	31	0,0 -

Länge des Musculus gastroknemius = 34 Mm.

B. Versuche, bei denen der Abstand der Electrodenpaare = 20 Mm. gesetzt ist.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	4,0 Mm.	2	2,9 Mm.
3	4,5 -	4	3,2 -
5	4,6 -	6	3,2
7	4,1 -	8	3,1 -
9	4,0 -	10	3,1 -
11	4,1 -	12	3,1 -
13	4,1 -	14	3,1 -
15	4,0 -	16	3,2 -
17	4,1 -	18	3,3 -
19	4,1 -	20	3,1 -
21	4,1 -	22	3,1 -
23	4,2 -	24	4,0 -
25	4,1 -	26	4,0 -
27	4,5 -	28	4,0 -
29	4,4 -	30	4,0 -
31	3,8 -	32	3,2 -

Länge des Musculus gastroknemius = 35 Mm.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	3,0 Mm.	2	0,8 Mm.
3	3,0 -	4	0,8 -
5	3,0 -	6	0,8 -
7	3,0 -	8	0,9 -
9	3,0 -	10	0,9 -
11	3,5 -	12	1,2 -
13	3,6 -	14	1,6 -
15	3,9 -	16	2,5 -
17	3,7 -	18	1,6 -
19	3,7 -	20	1,6 -
21	3,5 -	22	3,3 -
23	3,3 -	24	3,4 -
25	2,4 -	26	3,1 -
27	2,4 -	28	2,4 -
29	2,4 -	30	2,4 -
31	2,4 -	32	2,4 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 35 Mm.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	5,7 Mm.	2	0,2 Mm.
3	5,8 -	4	0,2 -
5	5,9 -	6	0,3 -
7	6,7 -	8	1,2 -
9	6,7 -	10	1,3 -
11	5,8 -	12	1,2 -
13	5,3 -	14	0,8 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
15	4,8 Mm.	16	0,8 Mm.
17	5,2 -	18	0,9 -
19	5,2 -	20	0,9 -
21	5,3 -	22	0,9 -
23	4,8 -	24	2,8 -
25	4,7 -	26	2,8 -
27	3,5 -	28	2,5 -
29	3,5 -	30	2,5 -
31	3,5 -	32	2,5 -
33	3,7 -	34	2,5 -
35	3,8 -	36	2,8 -
37	3,8 -	38	3,7 -
39	3,7 -	40	3,7 -

Länge des Musculus gastroknemius = 34 Mm.

Von denjenigen anderen Versuchen, welche unter denselben Bedingungen wie die hier mitgetheilten angestellt sind, habe ich nun für jede Versuchsreihe den mittleren Zuckungszuwachs berechnet und gebe die so erhaltenen Werthe in folgender Tabelle.

Mittelwerth des Zuckungszuwachses bei einem Abstande der Electrodenpaare von 5 Mm.	Mittelwerth des Zuckungszuwachses bei einem Abstande der Electrodenpaare von 25 Mm.
— 8,6	— 1,2
— 9,2	— 2,2
— 8,5	— 3,1
— 5,9	— 4,3
— 6,1	— 5,1
— 5,8	— 0,9
— 6,1	— 2,8
— 8,4	— 2,1
— 7,2	— 2,8

Die Länge der Musculi gastroknemii unterschieden sich um eine sehr geringe Grösse, sodass ich ohne Wahl einen beliebigen Frosch für irgend einen Abstand nahm.

Ich kann mich hier, ehe wir diese Methode verlassen, einer abermaligen Darlegung der Controlversuche entschlagen, welche den Zweck haben, die Nichtexistenz von Stromesschleifen nachzuweisen. Es bleibt uns demnach hier nur ein specielles Bedenken zu beseitigen, welches gerade bei Untersuchung des Anelectrotonus Platz greift. Es ist dies die Einmischung der Ströme des Electrotonus, welche in verschiedener Entfernung von der positiven Electrode verschiedene Stärke haben und darum vielleicht jenen verschieden grossen Zuwachs bedingten. Bei der Reizung des polarisirten Nerven ist aber, wie leicht zu sehen, die Stärke des reizenden Stromes um so grösser, je näher die gereizte der intrapolaren Strecke liegt. Gleichwohl ist die Zuckungsabnahme doch um so kleiner. Die Einmischung der vom Electrotonus herrührenden Ströme hat also unser Resultat nur noch sicherer gemacht. Wir wenden uns jetzt zu einer anderen Methode, dasselbe Gesetz abermals zu constatiren.

2. Nachweisung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der Mittelwerthe und des Reizes eines Schliessungsinductionsschlages.

Die hier anzuwendenden Methoden sind dieselben, welche bereits vorher (p. 176) auseinandergesetzt worden sind. Der Inductionsschlag hat ebenfalls die aufsteigende Richtung.

Digitized by Google

A. Versuche, bei denen der Abstand der Electrodenpaare = 5 Mm. gesetzt war.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	5,2 Mm.	2	0,0 Mm.
3	6,7 -	4	0,0 -
5	6,8 -	6	0,0 -
7	6,8 -	8	0,0 -
9	6,8 -	10	0,0 -
11	6,7 -	12	0,0 -
13	6,4 -	14	0,0 -
15	6,2 -	16	0,0 -
17	6,3 -	18	0,0 -
19	6,6 -	20	0,0 -
21	6,5 -	22	0,0 -
23	6,7 -	24	0,0 -
25	6,6 -	26	0,0 -
27	6,9 -	28	0,0 -
29	6,9 -	30	0,0 -
31	6,9 -	32	0,0 -
33	6,9 -	34	0,0 -
35	7,1 -	36	0,0 -
37	7,2 -	38	0,0 -
39	7,1 -	40	0,0 -
41	7,2 -	42	0,0 -
43	7,2 -	44	0,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 33 Mm.

Digitized by Google

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	6,8 Mm.	2	0,0 Mm.
3	7,3 -	4	0,0 -
5	7,3 -	6	0,0 -
7	7,3 -	8	0,0 -
9	7,7 -	10	0,0 -
11	7,7 -	12	0,0 -
13	7,8 -	14	0,0 -
15	7,8 -	16	0,0 -
17	7,8 -	18	0,0 -
19	8,0 -	20	0,0 -
21	8,0 -	22	0,0 -
23	7,9 -	24	0,0 -
25	7,9 -	26	0,0 -
27	7,9 -	28	0,0 -
29	7,9 -	30	0,0 -
31	8,0 -	32	0,0 -
33	8,0 -	34	0,0 -
35	8,0 -	36	0,0 -
37	8,0 -	38	0,0 -
39	8,0 -	40	0,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 35 Mm.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	6,7 Mm.	2	0,0 Mm.
3	6,7 -	4	0,0 -
5	6,7 -	6	0,0 -
7	6,6 -	8	0,0 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
9	6,7 Mm.	10	0,0 Mm.
11	6,7 -	12	0,0 -
13	6,7 -	14	0,0 -
15	8,0 -	16	0,0 -
17	6,8 -	18	0,0 -
19	6,6 -	20	0,0 -
21	6,6 -	22	0,0 -
23	6,6 -	24	0,0 -
25	6,6 -	26	0,0 -
27	6,4 -	28	0,0 -
29	6,4 -	30	0,0 -
31	6,5 -	32	0,0 -
33	6,4 -	34	0,0 -
35	6,4 -	36	0,0 -

Es war der andere Schenkel desselben Frosches, an dem auch der vorige Versuch angestellt wurde.

B. Versuche, bei denen der Abstand der Electrodenpaare = 20 Mm. gesetzt war.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	4,5 Mm.	2	3,0 Mm.
3	4,5 -	4	3,1 -
5	3,8 -	6	1,7 -
7	3,9 -	8	1,9 -
9	4,5 -	10	1,5 -
11	4,5 -	12	1,7 -
13	3,8 -	14	1,6 -
15	3,9 -	16	1,7 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
17	4,0 Mm.	18	1,6 Mm.
19	3,8 -	20	1,9 -
21	3,8 -	22	1,0 -
23	3,4 -	24	1,9 -
25	3,4 -	26	1,9 -
27	3,1 -	28	2,3 -
29	3,4 -	30	1,8 -
31	3,4 -	32	1,9 -
33	3,4 -	34	2,5 -
35	4,0 -	36	2,5 -
37	3,8 -	38	2,3 -
39	4,1 -	40	3,2 -
41	4,2 -	42	3,5 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 35 Mm.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	4,2 Mm.	2	2,0 Mm.
3	4,2 -	4	2,1 -
5	3,6 -	6	0,5 -
7	3,1 -	8	1,6 -
9	3,0 -	10	0,3 -
11	3,6 -	12	0,2 -
13	4,4 -	14	0,2 -
15	4,8 -	16	0,2 -
17	4,9 -	18	0,3 -
19	5,6 -	20	0,2 -
21	5,8 -	22	0,2 -
23	6,5 -	24	2,0 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
25	6,5 Mm.	26	1,7 Mm.
27	6,6 -	28	1,8 -
29	5,9 -	30	1,0 -
31	4,8 -	32	0,2 -
33	4,8 -	34	0,1 -
35	4,8 -	36	0,1 -
37	5,0 -	38	0,2 -
39	5,0 -	40	0,3 -
41	4,9 -	42	0,2 -
43	5,2 -	44	0,4 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 35 Mm.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	4,2 Mm.	2	2,9 Mm.
3	4,1 -	4	1,6 -
5	4,1 -	6	2,5 -
7	4,4 -	8	1,8 -
9	4,4 -	10	1,8 -
11	4,4 -	12	1,8 -
13	4,2 -	14	1,9 -
15	4,5 -	16	2,0 -
17	3,6 -	18	2,2 -
19	3,5 -	20	1,5 -
21	5,2 -	22	2,2 -
23	5,2 -	24	2,2 -
25	5,2 -	26	2,2 -
27	5,3 -	28	2,7 -
29	5,4 -	30	0,1 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
31	2,1 Mm.	32	0,1 Mm.
33	2,9 -	34	0,3 -

C. Versuche, bei denen der Abstand der Electrodenpaare = 35 Mm. gesetzt war.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,8 Mm.	2	0,1 Mm.
3	0,8 -	4	0,1 -
5	0,9 -	6	0,2 -
7	1,5 -	8	1,5 -
9	1,5 -	10	1,5 -
11	1,8 -	12	1,0 -
13	1,6 -	14	1,1 -
15	1,8 -	16	1,7 -
17	3,5 -	18	1,8 -
19	3,6 -	20	1,8 -
21	3,6 -	22	1,8 -
23	3,6 -	24	1,8 -
25	3,4 -	26	1,8 -
27	3,4 -	28	0,9 -
29	3,3 -	30	0,9 -
31	3,5 -	32	0,8 -
33	3,6 -	34	0,7 -
35	3,6 -	36	0,7 -
37	3,6 -	38	0,7 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 34 Mm.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,5 Mm.	2	1,5 Mm.
3	1,5 -	4	1,5 -
5	1,5 -	6	1,2 -
7	1,5 -	8	1,2 -
9	1,6 -	10	1,2 -
11	1,6 -	12	1,2 -
13	1,3 -	14	1,2 -
15	1,6 -	16	1,2 -
17	1,4 -	18	1,3 -
19	1,7 -	20	1,1 -
21	1,7 -	22	1,1 -
23	1,7 -	24	1,3 -
25	1,7 -	26	1,1 -
27	1,6 -	28	1,0 -
29	1,6 -	30	1,0 -
31	1,7 -	32	1,1 -
33	1,6 -	34	1,1 -
35	1,3 -	36	1,1 -
37	1,3 -	38	1,2 -
39	1,6 -	40	1,4 -
41	1,4 -	42	1,1 -
43	1,2 -	44	0,8 -
45	1,2 -	46	1,0 -
47	1,3 -	48	0,7 -
49	1,3 -	50	1,1 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 34 Mm.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,4 Mm.	2	1,4 Mm.
3	1,5 -	4	1,4 -
5	1,5 -	6	1,4 -
7	1,4 -	8	1,4 -
9	1,4 -	10	1,4 -
11	1,3 -	12	1,3 -
13	1,3 -	14	1,3 -
15	1,3 -	16	1,3 -
17	2,1 -	18	1,3 -
19	2,2 -	20	2,0 -
21	2,2 -	22	1,3 -
23	2,2 -	24	1,3 -
25	2,1 -	26	1,3 -
27	2,5 -	28	2,1 -
29	2,6 -	30	1,3 -
31	2,2 -	32	1,3 -
33	2,5 -	34	1,4 -
35	2,6 -	36	2,2 -
37	2,3 -	38	2,1 -
39	2,1 -	40	1,7 -
41	2,6 -	42	2,1 -
43	2,6 -	44	2,5 -
45	2,6 -	46	2,5 -
47	2,6 -	48	2,2 -
49	2,6 -	50	2,4 -
51	3,4 -	52	3,0 -
53	3,7 -	54	3,4 -
55	3,7 -	56	3,1 -
57	1,3 -	58	1,2 -
59	1,2 -	60	1,2 -
61	1,1 -	62	1,1 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
63	1,2 Mm.	64	1,2 Mm.
65	1,2 -	66	1,1 -
67	1,3 -	68	1,1 -
69	1,3 -	70	1,2 -
71	1,2 -	72	1,2 -

Der Nerv durchschnitten zwischen beiden Electrodenpaaren, wieder zusammengeklebt und der Versuch fortgesetzt:

73	1,0 Mm.	74	1,0 Mm.
75	3,3 -	76	3,1 -
77	3,0 -	78	3,2 -

Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 33 Mm. — Mehrmals habe ich bei diesem Versuche die Intensität der Reizung geändert, um ungefähr zu sehen, ob die Grösse des Zuwachses hiermit gleichfalls einer beträchtlicheren Schwankung unterliegt, was aber nicht der Fall war und auch nicht innerhalb gewisser Grenzen erwartet werden kann.

In Betreff der Fehler, welche aus der Einmischung der vom Electrotonus herrührenden Ströme entstehen könnten, bleibt hier zu beweisen, dass diese unser Resultat nur sicherer gemacht haben können. Die Verschiebung nämlich, welche die Curve des reizenden Stromes in der Richtung der positiven Coordinatenaxe erleidet, wird um so grösser sein, je näher dem polarisirenden Strome man die Reizung ausführt. Jene Verschiebung bringt aber eine Vermehrung der Reizung hervor, welche dieselbe Inductionsschwankung erzeugt. Gleichwohl beobachteten wir eine um so kleinere Zuckung, je höher die Ordinatenwerthe waren, zwischen welchen die reizende Stromesschwankung vor sich ging. Es kann uns also aus jener Einmischung der Ströme des Electrotonus ganz gewiss kein Irrthum erwachsen sein. — Die Discussion der anderen Fehlerquellen übergehe ich, weil sie mutatis mutandis diesel-

ben sind, welche früher behandelt wurden und auch hier berücksichtigt worden sind.

Uebersieht man nun die gegebenen Zahlenreihen, so zeigt es sich, dass bei einem Abstande der Electrodenpaare von 5 Mm. eine Reizung durch den constanten Strom unwirksam gemacht wird, welche vom nicht polarisirten Nerven aus fast das Zuckungsmaximum hervorbringt. Vorsichtig muss man bei Entwerfung solcher Zahlenreihen für die Methode der Mittelwerthe darin sein, dass der Reiz nicht stärker ist als derjenige, der bereits das Zuckungsmaximum zu erzeugen vermag. Aus diesem Grunde hat man natürlich bei all diesen Versuchen vor dem Beginn derselben diejenige Stärke des Inductionsstromes zu ermitteln, welche gerade das Zuckungsmaximum erzeugt. Weiss man diese Stärke, so entfernt man um ein Geringes die secundäre Rolle von der primären, sodass die Hubhöhe, die dem Zuckungsmaximum entspricht, um etwa 1—2 Mm. herabgesetzt wird. Natürlich ist hierauf ganz besonders zu sehen, wenn der Zuckungszuwachs für die grösseren Abstände untersucht werden soll, wo man zu Irrthümern verleitet würde durch stärkere Reize als diejenigen sind, welche bei geringeren Distanzen auf den Nerven angewendet werden. Um auch hier ganz sicher zu gehen, zog ich deshalb von dem Zuckungsmaximum immer um so mehr ab, je weiter die gereizte Stelle von der intrapolaren entfernt war. Dem gemäss benutzte ich Reize, welche fast das Zuckungsmaximum bewirkten, wenn ich in der Nähe der Electroden des constanten Stromes reizte; bei dem mittleren Abstande aber verwandte ich solche, welche nur mittelstarke Zuckungen hervorbrachten, die etwa die Hälfte des Zuckungsmaximums betrugen; bei dem grössten Abstande endlich wählte ich meist nur ganz kleine Zuckungen. Dem gemäss konnte ich dann a fortiori sagen, dass in der Nähe der Electrode die Erregbarkeit für ein und denselben Reiz mehr herabgesetzt werde als in der Ferne. Denn in der Nähe wurden durch die Wirkung des Stromes Reize unwirksam gemacht, welche das Zuckungsmaximum hervorbrachten, während in der Ferne ganz schwache Erregungen wirksam blieben und

Digitized by Google

nur bei genauer Messung durch den Einfluss des Stromes eine geringe Schwächung zeigten. Man übersieht dieses Gesetz bei oberflächlicher Betrachtung der Tabellen sofort. Zur weiteren Bestätigung gebe ich indessen noch den Mittelwerth des Zuckungszuwachses für die verschiedenen Entfernungen aus den anderen von mir angestellten Versuchen, welche aus Mangel an Raum hier nicht im Einzelnen wiedergegeben werden können.

Tabelle.

Mittlerer Zuckungszuwachs bei einem Abstand der Electrodenpaare = 5 Mm.	Mittlerer Zuckungszuwachs bei einem Abstand der Electrodenpaare = 20 Mm.	Mittlerer Zuckungszuwachs bei einem Abstand der Electrodenpaare = 35 Mm.
— 6,9	— 5,9	— 0,8
— 5,7	— 2,4	— 0,7
— 7,7	— 3,1	— 1,3
— 6,6	— 2,2	— 0,6
— 6,8	— 1,4	— 0,2
— 6,2	— 1,8	— 0,1
— 5,8	— 1,2	— 0,0
— 7,1	— 1,1	— 1,2

Auch aus dieser Tabelle erhellt das allgemeine Gesetz, obschon in der dritten Columne die höchsten Werthe die niedersten der zweiten, die höchsten der zweiten aber die niedrigsten der ersten überschreiten. Bei der vorhergehenden Tabelle, wo nur zwei Punkte besimmt wurden, hatten die Versuche, wohl zufällig, etwas elegantere Resultate ergeben, was auch bei der Tabelle des Katelectrotonus der Fall war, der mir, wenn mich nicht Vieles täuscht, steiler abzufallen scheint, als der absteigende Anelectrotonus.

3. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der Verschiebung der Reizelectroden.

Ich habe bereits die specielle Ausführung dieser Methode im vorigen Abschnitte (p. 215) behandelt, weshalb wir uns sofort den Resultaten der Versuche zuwenden können.

Versuch I.

Ich wähle den Abstand der Electrodenpaare = 30 Mm.:

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	3,2 Mm.	2	1,6 Mm.
3	3,1 -	4	1,7 -
5	3,1 -	6	1,8 -
7	3,1 -	8	1,8 -

Hierauf mache ich durch Verschiebung des dem reizenden Strome angehörenden Electrodenpaares den Abstand = 20 Mm. und setze den Versuch fort:

9	3,4 Mm.	10	1,3 Mm.
11	4,0 -	12	1,2 -
13	4,3 -	14	1,3 -
15	4,4 -	16	1,4 -
17	3,7 -	18	1,4 -

Sodann wird auf dieselbe Weise wie vorher der Electrodenabstand = 5 Mm. gesetzt und mit dem Versuche fortgefahren:

19	4,2 Mm.	20	0,0 Mm.
21	4,0 -	22	0,0 -
23	4,3 -	24	0,0 -
25	6,1 -	26	0,0 -
27	6,1 -	28	0,0 -
29	6,5 -	30	0,0 -

Ich mache hierauf abermals den Abstand des Electrodenpaares = 30 Mm.:

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
31	3,1 Mm.	32	1,7 Mm.
33	3,9 -	34	1,8 -

Hierauf endlich nochmals der Abstand = 5 Mm. gesetzt:

35	4,6 Mm.	36	0,0 Mm.
37	6,7 -	38	0,0 -
39	6,8 -	40	0,0 -

Dieser Versuch beweist allein für sich das ganze Gesetz, und zwar in einer überaus strengen und charakteristischen Weise. Bei dem Electrodenabstande von 30 Mm. im Anfange werden die schwachen Zuckungen durch den Strom um weniger geschwächt und bleiben selbst noch stärker als die stärkere Zuckung bei einem Electrodenabstand von 20 Mm. Ebenso verhält sich der Electrodenabstand von 20 Mm. zu dem von 5 Mm. Die im natürlichen Zustande ausgelöste Zuckung ist bei dem Abstande von 20 Mm. bedeutend kleiner als die beim Abstande von 5 Mm. Während des Electrotonus aber hat sich das Verhältniss umgedreht, sodass dem kleinen Abstande die bedeutend kleinere Zuckung zukommt, welche sogar absolut gleich Null ist. Hierauf folgen noch einzelne Abwechselungen des Versuches, um zu zeigen, dass die beobachteten Verschiedenheiten nicht in Erregbarkeitsschwankungen und dergleichen mehr begründet sein können. Bei diesem Versuche war der Reiz ein Kettenstrom. Ich besitze noch viele solcher Versuchsreihen und bedaure, sie aus Mangel an Raum nicht mittheilen zu können, da sie alle mit derselben Strenge das Gesetz darthun. Ich gebe nun noch einen Versuch, bei welchem statt des reizenden Kettenstromes ein Schliessungsinductionsschlag angewandt ist.

Digitized by Google

Versuch II.

Abstand = 5 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	6,2 Mm.	2	0,0 Mm.
3	6,2 -	4	0,0 -
5	6,3 -	6	0,2 -
7	5,7 -	8	0,0 -

Hierauf wird wie bei Versuch I der Abstand = 15 Mm. gesetzt und fortgefahren:

9	4,5 Mm.	10	0,0 Mm.
11	4,5 -	12	0,0 -
13	3,0 -	14	0,0 -
15	3,1 -	16	0,0 -

Sodann nehme ich den Abstand der Electrodenpaare = 25 Mm. und setze den Versuch fort:

17	3,9 Mm.	18	1,3 Mm.
19	3,6 -	20	1,3 -
21	3,6 -	22	1,3 -
23	3,0 -	24	1,2 -

Sodann setze ich den Abstand = 35 Mm. und fahre fort:

25	0,5 Mm.	26	0,5 Mm.
27	0,5 -	28	0,5 -
29	0,5 -	30	0,5 -
31	0,5 -	32	0,5 -

Ich mache sodann wieder den Abstand = 5 Mm. und erhalte:

33	4,6 Mm.	34	0,2 Mm.
35	4,9 -	36	0,2 -
37	3,8 -	38	0,1 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
39	3,9 Mm.	40	0,0 Mm.
41	4,8 -	42	0,3 -
43	4,0 -	44	0,2 -
45	4,3 -	46	0,3 -
47	4,6 -	48	0,2 -
49	4,6 -	50	0,2 -

Ich mache sodann wiederum den Abstand = 35 Mm. und fahre fort:

51	0,5 Mm.	52	0,5 Mm.
53	0,5 -	54	0,5 -
55	0,5 -	56	0,5 -
57	0,5 -	58	0,5 -
59	0,5 -	60	0,5 -
61	0,5 -	62	0,5 -
63	0,5 -	64	0,5 -

Endlich nochmals Abstand = 5 Mm.:

65	5,2 Mm.	66	0,1 Mm.
67	5,6 -	68	0,1 -
69	4,6 -	70	0,0 -
71	4,5 -	72	0,0 -

Somit dürfte denn auch mit dieser Methode der Nachweis für unser Gesetz geführt sein. Die hier zu berücksichtigenden Fehlerquellen sind dieselben, wie bei der Methode der Mittelwerthe und stets genau beachtet worden.

Digitized by Google

4. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der Verschiebung der dem polarisirenden Strome angehörenden Electroden.

Ich habe diese Methode und ihre bedenkliche Seite bereits oben im Abschnitt II (p. 221 ff.) discutirt. Gleichwohl können wir uns hier eines genaueren Eingehens wegen des Wechsels der Verhältnisse nicht entschlagen. Wie sich der Leser noch erinnern wird, entspringt der schlimmste Einwand gegen die hier einzuschlagende Methode aus der verschiedenen specifischen Empfänglichkeit des Nerven für den electrotonischen Zustand je nach den verschiedenen Stellen, durch welche man den polarisirenden Strom fliessen lässt. Wie bereits bemerkt, ist uns das Gesetz, nach welchem jene Empfänglichkeit am Nerven vertheilt ist, nicht genau genug bekannt. Soviel ist nur als sicher erwiesen zu betrachten, dass der unter dem Abgange der Oberschenkeläste des Nervus ischiadicus gelegene Theil eine ganz besondere, nie fehlende Empfänglichkeit zeigt. Da wir nun von den tieferen Stellen die stärkere Wirkung sehen wollen, so wird jene Wahrheit nunmehr für unsere Methode bedenklich. Ich habe leider diesen Verdacht nicht strenge zu beseitigen vermocht, weshalb die folgenden Versuche, welche gleichwohl angestellt werden mussten, von ihm behaftet sind. Ich werde indessen noch in der Folge auf Umstände aufmerksam machen, welche es fast zur Gewissheit erheben, dass die hier bemerkbar werdende Vermehrung der Wirkung des Stromes bei seiner Annäherung an den Reiz wirklich doch nur in seiner Nähe zu suchen ist. Ich gebe dem gemäss trotz dessen einen Versuch als Beleg.

Digitized by Google

Versuch.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	
1	6,8 Mm.	2	0,0 Mm.	N
3	6,8 -	4	0,0 -	N
5	6,8 -	6	3,4 -	E
7	6,8 -	8	4,9 -	E
9	7,2 -	10	0,0 -	N
11	8,0 -	12	0,0 -	N
13	7,4 -	14	3,9 -	E
15	7,4 -	16	5,2 -	E
17	7,7 -	18	0,0 -	N
19	8,0 -	20	0,0 -	N
21	8,0 -	22	6,4 -	E
23	8,1 -	24	6,6 -	E
25	8,1 -	26	0,0 -	N
27	8,2 -	28	0,0 -	N
29	8,2 -	30	6,4 -	E
31	8,5 -	32	6,3 -	E
33	8,3 -	34	0,0 -	N
35	8,6 -	36	0,0 -	N
37	8,5 -	38	6,9 -	E
39	8,6 -	40	7,6 -	E
41	8,8 -	42	6,8 -	E
43	8,7 -	44	0,0 -	N
45	8,8 -	46	0,0 -	N
47	8,9 -	48	0,0 -	N

N und E bedeutet, dass hier der Strom bald durch die nahe, bald durch die ferne Strecke ging.

Die Specialbedingungen dieses Versuches waren: Länge des Musculus gastroknemius = 34 Mm. — Nach der Durchschneidung zwischen dem Electrodenpaar des reizenden Stromes und demjenigen des ihm näheren constanten Stromes bleibt

die Reizung stets gleich gross, mag der Strom durch die nahe oder ferne Strecke fliessen. Die entfernte Strecke ist entschieden etwas länger als die nahe. Die constante Ablenkung der Multiplicatornadel bei halber Länge von der entfernten Strecke, welche natürlich unterhalb des Abganges der Oberschenkeläste liegt, betrug 2°, von der näheren nur 0,5°. Der Abstand der beiden Electrodenpaare des constanten Stromes von einander war = 10 Mm. Eine grössere Distanz lässt sich bei dieser Methode nicht anwenden, da dieselbe voraussetzt, dass die Uebertragung des constanten Stromes von einer Nervenstrecke auf eine andere gleichen Querschnittes geschehe.

5. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der chemischen Reizung.

Die Methoden, deren ich mich hier bedient habe, waren mutatis mutandis ganz dieselben, welche bereits im vorigen Abschnitte (p. 227 ff.) bei der analogen Frage behandelt worden sind. Ich habe auch hier die dort erwähnten beiden Methoden benutzt, um die Abnahme des Zuwachses mit der Entfernung nachzuwiesen.

Um dem Leser eine genauere Vorstellung von der Grösse der Verschiedenheit und der Schärfe des Versuches zu geben, verweise ich auf Fig. 15. Wie man an dieser Curve bemerkt, wechseln hohe Gipfel mit tiefen Thälern ab. Diese ganz tiefen Thäler entsprechen der Zeit, während welcher der aufsteigende Strom ganz nahe der geätzten Stelle den Ischiadicus durchfloss. Ich habe diesen Theil der Curve in der Figur durch den Buchstaben (n) bemerklich gemacht. Die hohen Gipfel aber zerfallen selbst wieder in kleine Gipfel und in seichte Thäler. Die kleinen Gipfel (o) entsprechen der Zeit, wo gar kein Strom durch den Nerven floss, der Muskel also von dem Tetanus in voller Stärke befallen war. Die seichten Thäler (s) aber bezeichnen die Zeit, während welcher der

polarisirende Strom durch die der gereizten fernste Stelle ging. Der Abstand der beiden Electrodenpaare von einander betrug 5 Mm.

Somit wäre denn auch hierdurch der Beweis gestellt, und wir können demnach als allgemeines Gesetz aussprechen, dass die Stärke des extrapolaren Anelectrotonus mit der Entfernung von der positiven Electrode abnimmt und schliesslich verschwindet.

Kapitel III.

Untersuchung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Stärke des constanten electrotonisirenden Stromes.

Die Untersuchung der Abhängigkeit des anelectrotonischen Zustandes von der Stromstärke muss mit derselben Sorgfalt ausgeführt werden, wie sie von uns bei der analogen Erforschung des Katelectrotonus in Anwendung gebracht worden ist. Denn nur auf diese Weise kann uns mit Bestimmtheit eine Zeichenumkehr der Function und dergleichen mehr nicht entgehen. Dass die bisher bei solchen Versuchen gebrauchten Methoden darum nicht zureichend sind, das hat der Leser nun jetzt wohl zur Genüge eingesehen und wird sich noch ferner hiervon überzeugen. Ich habe mich aus diesen Gründen die Mühe nicht verdriessen lassen, eine Wochen lang dauernde Untersuchung von grosser Arbeit anzustellen, deren Resultat sich schliesslich mit einem Worte sagen lässt:

Es wächst der absteigende Anelectrotonus mit wachsender Stromstärke von Null aus stetig und fortwährend an. Eine Zeichenumkehr findet also bei keiner Stromstärke statt. Mit wachsender Stromstärke dehnen sich die electrotonisirten Strecken über immer grössere Längen der Nerven aus.

Das stetige Anwachsen lässt sich leicht demonstriren, indem man die Wirkung zweier Stromstärken mit einander vergleicht, welche durch verschiedene Längen der metallischen Nebenschliessung des Rheochords erhalten werden. Erst bei den höheren Stromeskräften bedarf der Nachweis des weiteren Anwachsens des Anelectrotonus eines besonderen Kunstgriffes, weil von den beiden in ihrer Wirkung mit einander zu vergleichenden Stromstärken bereits die geringere das Zuckungsmaximum auslöscht. Hier muss man dann die Reizung so weit steigern, dass dies nicht mehr der Fall ist, wenn die Entfernung des Reizes von der intrapolaren Strecke nicht bereits ausreicht. Auf diese Weise habe ich mich denn überzeugt, dass der Anelectrotonus von der Stromstärke Null bis zu der, welche durch 10 Grove'sche Elemente hervorgebracht wird, stetig zunimmt. Wie bereits oben bemerkt, ist die durch den Nerven fliessende Stromstärke selbst bei Gegenwart des nebenschliessenden Rheochords fast genau so gross, als ob er nicht da wäre, wenn seine ganze Länge eingeschaltet ist. In Bezug endlich auf die schwächsten Ströme, welche ich noch wirksam fand, bleibt dasselbe zu sagen, was ich bei dem Katelectrotonus habe hervorheben müssen, indem Ströme von einerlei Ordnung mit dem Nervenstrome den anelectrotonischen Zustand noch ganz deutlich hervorzubringen vermögen. Ich gebe der Merkwürdigkeit halber hier noch einen solchen Versuch, wo von dem einsaitigen Eisenrheochord, der mit nur 1 Grove'schen Elemente in Verbindung war, der polarisirende Strom abgeleitet wurde, während die Länge der zu dem Nerven so angebrachten metallischen Nebenschliessung nur 1 Cm. Eisendraht betrug, obschon ausser dem Nerven noch so ungeheure Widerstände in dem Kreise des polarisirenden Zweigstromes vorhanden waren.

Versuch.

Länge der metallischen Nebenschliessung am einsaitigen Eisenrheochord = 3 Cm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	4,0 Mm.	2	2,5 Mm.
3	4,1 -	4	2,7 -
5	3,9 -	6	2,5 -
7	3,2 -	8	1,8 -
9	3,1 -	10	1,8 -
11	3,6 -	12	1,3 -
13	3,2 -	14	1,1 -
15	3,0 -	16	1,5 -

Darauf mache ich die Länge der metallischen Nebenschliessung = 25 Cm. und setze den Versuch fort:

17	4,2 -	18	0,0 -
19	4,7 -	20	0,0 -
21	4,8 -	22	0,0 -
23	5,0 -	24	0,0 -
25	5,0 -	26	0,0 -
27	5,0 -	28	0,0 -
29	5,0 -	30	0,0 -
31	5,2 -	32	0,0 -
33	5,3 -	34	0,0 -
35	4,8 -	36	0,0 -

Hierauf wird aber die Länge der metallischen Nebenschliessung gleich 3 Cm. gesetzt und fortgefahren:

37	3,9 -	38	2,4 -
39	3,9 -	40	1,6 -
41	3,9 -	42	2,6 -

Sodann aber Nebenschliessung gleich 1 Cm.

Zahl der Zuckung.	Grösse der Zuckung bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Grösse der Zuckung bei polarisirten Nerven.
43	3,6 Mm.	44	2,9 Mm.
45	3,6 -	46	2,8 -
47	3,6 -	48	2,9 -

Dann abermals Nebenschliessung gleich 25 Cm.

49	4,9 -	50	0,0 -
51	5,1 -	52	0,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 33 Mm. — Die constante Ablenkung durch den stärksten Strom 5° bei halber Multiplicatorlänge, durch den schwächsten eine kaum bemerkbare Spur bei doppelter Länge.

Um nun noch die Ausdehnung des Electrotonus über immer grössere Strecken des Nerven mit wachsender Stromstärke zu constatiren, entfernte ich die gereizte von der intrapolaren Strecke so viel als möglich, wo dann die Schliessung eines schwachen polarisirenden Stromes keine deutliche Veränderung der Erregbarkeit mehr erkennen liess, welche aber auf der Stelle mehr oder weniger kräftig erschien, wenn ich dem polarisirenden Strome die ausreichende Stärke gab, die mit Hülfe des Rheochords leicht gefunden ist. Es interessirte mich hierbei noch eine Frage entschieden zu haben, die aus folgender Betrachtung entsprang. Wie man zugeben muss, ist es wahrscheinlich, dass die Stärke des erregten Electrotonus bei einem gewissen Werthe der Stromstärke eine Grenze habe, über welche hinaus derselbe nicht mehr weiter wächst, wenn es auch die Stromstärke thut. Findet dies aber statt, so ist ferner klar, dass der Electrotonus niemals über eine gewisse Länge des Nerven sich merkbar auszubreiten vermöge, sondern dass es eine ganz bestimmte gebe, welche gleichsam eine Naturconstante darstellt, der er sich bei wachsender Stromstärke asymptotisch zu nähern strebt. Bei dem äusserst raschen Abfalle der Curve der Zuwachse

mit der Entfernung von den Electroden, hoffte ich nun bei ausreichend genommener Länge des Nerven diese Grenze constatiren zu können. Zu dem Ende wählte ich einen der grössten Frösche, deren ich habhaft werden konnte. Die Länge des Nervus ischiadicus von der Kniebeuge bis zur Eintrittsstelle des Nerven in die Knochen der Wirbelsäule betrug 80 Mm. Um nun diese Länge noch mehr zu vergrössern, brach ich mit Hülfe der Müller'schen Knochenzange den Wirbelkanal auf, schnitt die sensibelen Wurzeln ganz herauf und brückte sodann die motorischen allein über die Electroden des constanten polarisirenden Stromes, welcher in aufsteigender Richtung die Bewegungsnerven durchfloss. Bei Prüfung der hierdurch bedingten Veränderung der Erregbarkeit dicht oberhalb des Musculus gastroknemius erschien aber der negative Zuwachs, wenn auch nicht stark, so doch ganz deutlich. Falls also eine Grenze vorhanden ist, wie wir sie vermutheten, so reicht doch noch die gewählte Länge zu ihrer Demonstration nicht aus. Die Stromstärke entsprach derjenigen, welche sechs Grove'sche Elemente bei den angegebenen Widerständen und ganzer Länge des grossen Neusilberrheochords hervorzubringen vermögen. — Ich wende mich nunmehr zur Erforschung des Einflusses einer neuen Variabeln auf die Stärke des Anelectrotonus.

Kapitel IV.

Untersuchung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Länge der intrapolaren Strecke.

Ich habe die Methoden, deren man sich am zweckmässigsten zur Erforschung des Einflusses der Länge bedient, bereits im zweiten Abschnitte ausführlich dargelegt (s. p. 247 u. flgd.). Sie haben auch hier mutatis mutandis dieselbe Anwendung gefunden. Ganz wie dort habe ich dieselben

Verhältnisse der Längen für alle möglichen Werthe der Stromstärken durchexperimentirt, um endlich zu dem einfachen Gesetze zu kommen:

dass die Stärke des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus mit wachsender Länge stets zunimmt, welches auch die benutzte Stromstärke sein möge.

Es ist äusserst interessant, wenn man bei Untersuchung dieses Einflusses der Länge die Bemerkung macht, wie derselbe bei niedrigen Stromeskräften unfehlbar mit ganz ausserordentlicher Stärke auftritt. Geht man aber mit den Stromstärken weiter, so ist der Einfluss der Verlängerung durchaus nicht mehr so scharf ausgesprochen, ja bei sehr hohen Stromeskräften kommt es nicht selten vor, dass der Einfluss der Verlängerung sowohl nach der einen wie anderen Methode durchaus nicht hervortreten will. Ja es ist nicht ungewöhnlich, dass wenn sich im Anfange des Versuches auch ein Ueberwiegen der Wirkung von der längeren Strecke aus gezeigt hat, doch bald das Verhältniss umgekehrt ist. Unter Voraussetzung des Vorhandenseins eines Maximums der Polarisation muss das so sein; denn wenn der Electrotonus bereits von der kurzen Strecke aus bis fast zum Maximum entwickelt ist, so kann eine Verlängerung nichts mehr weiter bewirken, ja sie muss sogar eine Schwächung bedingen, weil ja die Stromesdichte mit wachsender Länge abnimmt. Denn wie man ja gesehen hat und noch ferner sich überzeugen wird, kommt trotz der grossen eingeführten Widerstände neben dem Nerven dieser dennoch wegen seiner oft grossen eingeschalteten Länge sehr in Betracht.

Der Einwand, dass die bei der Verlängerung der Nervenstrecke neu aufgenommenen Theile eine grössere specifische Empfänglichkeit für den Electrotonus haben, trifft das ausgesprochene Gesetz nicht unmittelbar, sondern nur seine Deutung. Dass aber diese Deutung den Kern des eigentlichen Gesetzes träfe, kann man nicht wohl zugeben, weil dasselbe sich ganz allgemein bewährt, sowohl für Katelectrotonus wie für Anelectrotonus, mögen diese auf- oder abstei-

gend sein. Dieses Verhalten ist aber aus jener Vorstellung nicht ableitbar.

Der specielle Nachweis unseres Gesetzes bietet nun durchaus keine Schwierigkeiten mehr; denn man verstärkt die Reizung so lange, bis die von der kurzen Strecke her erregte säulenartige Polarisation die Reizung nicht mehr zu erlöschen vermag. Darauf lasse man den Strom durch die lange Strecke fliessen, womit dann die Wirkung verstärkt ist, obschon für die lange Strecke alle jene ungünstigen Umstände eingeführt sind, welche auch oben zur Anwendung kamen. Als Beweis füge ich aus meinen zahlreichen Versuchsreihen zwei Beispiele bei.

Versuch I.

Kurze polarisirte Strecke.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	5,4 Mm.	2	2,2 Mm.
3	5,8 -	4	2,2 -
5	3,9 -	6	1,8 -
	Lange polarisirte Strecke.		
7	5,8 -	8	0,0 -
9	10,2 -	10	0,0 -
11	10,5 -	12	0,0 -
13	10,5 -	14	0,0 -
	Kurze polarisirte Strecke.		
15	6,8 -	16	3,1 -
17	4,3 -	18	2,7 -
19	4,5 -	20	2,8 -
21	4,5 -	22	2,8 -
	Lange polarisirte Strecke.		
23	6,0 -	24	0,0 -
25	7,9 -	26	0,0 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
27	8,0 Mm.	28	0,0 Mm.
29	7,6 -	30	0,0 -
	Kurze polarisirte Strecke.		
31	4,5 -	32	3,3 -
33	3,9 -	34	3,3 -
35	3,9 -	36	3,4 -
37	3,9 -	38	3,4 -
39	3,4 -	40	3,4 -
	Lange polarisirte Strecke.		
41	5,0 -	42	0,0 -
43	4,5 -	44	0,0 -
45	4,4 -	46	0,0 -
47	4,5 -	48	0,0 -
	Kurze polarisirte Strecke.		
49	3,8 -	50	3,7 -
51	3,8 -	52	3,7 -
53	3,5 -	54	3,1 -
55	3,6 -	56	3,1 -
	Lange polarisirte Strecke.		
57	4,2 -	58	0,0 -
59	4,5 -	60	0,0 -
61	4,5 -	62	0,0 -
63	4,7 -	64	0,0 -
65	4,6 -	66	0,0 -
67	4,6 -	68	0,0 -
	Kurze polarisirte Strecke.		
69	3,8 -	70	3,1 -
71	3,1 -	72	2,8 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
73	3,1 Mm.	74	2,8 Mm.
75	3,1 -	76	2,8 -
77	3,1 -	78	2,6 -
	Lange polarisirte Strecke.		
79	4,6 -	80	0,0 -
81	4,8 -	82	0,0 -
83	5,2 -	84	0,0 -
85	5,5 -	86	0,0 -
87	5,5 -	88	0,0 -

Die Verlängerung wurde bei diesem Versuche so hergestellt, dass die längere Strecke die kurze nicht enthielt, weiter von der gereizten Stelle entfernt war als die kurze Strecke und ausserdem von einem schwächeren Strome polarisirt wurde. Es ist gewiss erstaunlich, wie gewaltig diese Wirkung der Länge ausfällt. Die speciellen Bedingungen waren: l : L = 1 : 14 Mm. Die oberste Electrode des constanten Stromes liegt dicht unter dem Abgange der Oberschenkeläste dem Nervus ischiadicus an. Die constante Ablenkung durch den Strom, welcher die nahe Strecke durchfliesst, beträgt bei halber Multiplicatorlänge 7,5°, diejenige durch den Strom, welcher durch die entfernte Strecke geht, 5,8°. Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 35 Mm. Der reizende Strom war ein aufsteigender Kettenstrom. — Ich gebe sodann noch einen Versuch, bei welchem eine hohe Stromstärke zur Anwendung kam.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	4,8 Mm.	2	1,1 Mm. L
3	4,8 -	4	1,1 - L

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
5	4,8 Mm.	6	4,3 Mm. K
7	4,8 -	8	2,8 - K
9	4,8 -	10	1,2 - L
11	4,9 -	12	0,7 - L
13	4,9 -	14	0,7 - K
15	4,9 -	16	0,7 - K
17	5,0 -	18	4,6 - L
19	5,2 -	20	3,3 - L
21	5,2 -	22	0,0 - K
23	5,2 -	24	1,8 - K
25	5,2 -	26	5,2 - L
27	5,5 -	28	5,2 - L
29	5,4 -	30	1,3 - K
31	5,4 -	32	0,5 - K
33	5,5 -	34	5,4 - L
35	5,5 -	36	5,5 - L
37	5,6 -	38	0,0 - K
39	5,6 -	40	1,3 - K

Nun wurde zwischen den Electroden des reizenden und constanten Stromes der Nerv durchschnitten und wieder zusammengeklebt und der Versuch fortgesetzt:

41	5,2 Mm.	42	5,3 Mm. L
43	5,3 -	44	5,3 - K

Die Stromstärke entsprach der von 6 Grove'schen Elementen, welche unmittelbar, ohne Nebenschliessung des Rheochords, durch den Nerven geschlossen wurden. — Die lange Strecke enthielt die kürzere. l : L verhält sich wie 1 : 20 Mm. Die constante Ablenkung, welche der durch die kurze Strecke fliessende Strom bei halber Multiplicatorlänge hervorbrachte, war = 75°, diejenige aber, welche der durch die lange Strecke gehende Strom erzeugte, betrug 67°. Die Länge des Musculus gastroknemius war = 34 Mm.

Wie also dieser Versuch lehrt, kehrt sich leicht bei so hohen Stromstärken die Wirkung insofern um, als man von der langen Strecke die schwächere Wirkung erfolgen sieht, aus dem Grunde, welcher oben angedeutet worden ist.

Wir wenden uns nunmehr zu dem letzten Kapitel dieses Abschnittes.

Kapitel V.

Untersuchung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Zeit.

Ich habe bei Untersuchung der analogen Fragen, welche den aufsteigenden Katelectrotonus betreffen, bereits diejenigen Punkte und Methoden discutirt, welche hier in Betracht kommen, und kann mich deshalb sofort dem speciellen Gegenstande zuwenden.

Was zunächst die Frage betrifft, innerhalb welcher Zeit der Anelectrotonus nach Schliessung des constanten polarisirenden Stromes seine Höhe erreicht, so hängt dieses ab von der Stärke des letzteren. Bei Untersuchung des Problems mit schwachen polarisirenden Strömen, ich meine solchen, welche die erste und zweite, ja sogar die dritte Stufe des Zuckungsgesetzes geben, stossen wir auf eine Thatsache von ausserordentlicher Merkwürdigkeit. Erstaunt bemerken wir, die wir daran gewöhnt sind, die Bewegungserscheinungen an den Nerven mit den Sinnen unfassbarer Geschwindigkeit vor sich gehen zu sehen, wie der Anelectrotonus nicht urplötzlich bei der Schliessung gleich dem Katelectrotonus vorhanden ist, sondern nur sehr langsam anschwillt, nach vielen Secunden erst sein Maximum erreicht und dabei gleichsam wunderbar träge über grössere Nervenstrecken fortkriecht, sodass man die Flutzeit des Anelectrotonus mit aller Gemüthsruhe studiren kann. Ich habe nicht selten bei schneller Reizung nach erfolgter Schliessungszuckung keine Spur einer

Digitized by Google

veränderten Erregbarkeit nachweisen können, die nach 30 Secunden oder 1 Minute doch sehr stark herabgesetzt war. Wie aber bei Untersuchung des Anelectrotonus derselbe an einer Stelle anschwillt, sein Maximum erreicht, so nimmt er nachher auch wieder ab und zieht sich ebbend nach der intrapolaren Strecke zurück, wenn man fortwährend geschlossen lässt. Die Dauer der Flutzeit wird kleiner, wenn derselbe Strom öfter geschlossen wird oder wenn er bereits anfänglich stärker war, sodass auch der Anelectrotonus bei sehr starken Strömen urplötzlich hereinzubrechen scheint.

Ich habe mit Rücksicht auf dieses sonderbare Verhalten den Einfluss der Phasen auf die Stärke der paradoxen Zuckung geprüft, welche ich vom Ramus peronaeus des Ischiadicus aus nach du Bois-Reymond's Angabe hervorbrachte (s. du Bois-Reymond, Untersuchungen. Bd. II p. 546). Obwohl nun die positive Phase am Multiplicator der negativen überlegen ist, was jedoch mit den hier betrachteten Erscheinungen so in Uebereinstimmung gebracht werden kann, dass man die langsame Schwingungsdauer der Nadel in Betracht zieht, deren Ausschlag nur die Electricitätsmenge angiebt, nichts aber im Allgemeinen über die Geschwindigkeit aussagen kann, mit welcher der Strom der säulenartigen Polarisation anwächst, so erwartete ich doch, dass die negative Phase bei geringeren Kräften des polarisirenden Stromes eine entschiedene Ueberlegenheit, mit Bezug auf ihre Fähigkeit zur Hervorbringung der secundären Zuckung, an den Tag legen würde. Den Versuch stellte ich so an, dass ich ein kleines Grove'sches Element mit der stromzuführenden Vorrichtung verband und zwischen beiden einen Stromwender einschaltete. Der Kreis konnte an einer Stelle in Quecksilber mit amalgirten Kupferhacken geschlossen werden. Der beobachtete Erfolg entsprach aber meinen Erwartungen nicht, sondern, wenn auch nicht regelmässig, so hatte im Allgemeinen doch die positive Phase die entschiedene Oberhand, indem dieselbe sehr oft kräftige secundäre Zuckung erzeugte, wenn bei der anderen Lage der Wippe die negative durchaus wirkungslos war. Man hat indessen hier zu bedenken, dass es noch ein Umstand ist, wel-

Digitized by Google

cher hier der positiven Phase ganz besonders zu Hülfe kommt. Der Nervus peronaeus nämlich ist dann vom polarisirenden Strome absteigend durchflossen, sodass bei der Schliessung desselben der Strom der säulenartigen Polarisation in die nebenschliessenden Fasern des Nervus tibialis in aufsteigender Richtung einbricht. Die Schliessung eines aufsteigenden Stromes ist aber bekanntlich bei diesen geringen Stromstärken bedeutend wirksamer als die eines absteigenden Stromes, sodass eine scheinbare Ueberlegenheit der positiven Phase sich leicht selbst dann noch zeigen könnte, wenn sie der negativen an Grösse absolut gleich wäre. Gerade aus diesem Grunde aber kann der Beweis nicht auf andere Weise geführt werden, und ich muss es darum auf sich beruhen lassen, welches die Ursache sei, die hier ein Nichtübereinstimmen des electromotorischen Verhaltens des Nerven mit den Veränderungen der Erregbarkeit anzudeuten scheint. Doch darf man nicht vergessen, dass bei unseren Versuchen nur die Eigenschaft des Bewegungsnerven in Rechnung gezogen ist, während bei der paradoxen Zuckung natürlich sowohl Bewegungs- als Empfindungsnerven mit ihren electromotorischen Kräften betheiligt zu sein scheinen.

Ich wende mich nun nach dieser kleinen Abschweifung der weiteren Frage zu, nach welchen Gesetzen der Anelectrotonus bei der Oeffnung des Stromes abklingt. Ich habe auch hier diese Gesetze als Function der Stromstärke und innerhalb gewisser Grenzen auch als Function der Stromesdauer zu erforschen mich bemüht. Das allgemeine Resultat ist einfach und lässt sich dahin aussprechen:

> „dass bei der Oeffnung des modificirenden Stromes der Anelectrotonus direct in die positive Modification überspringt, welche den Nerven je nach der Stärke und Dauer des Stromes längere oder kürzere Zeit, aber immer Minuten behaftet."

Ich habe von diesem Gesetze bei keiner Stromstärke, bei keiner Schliessungsdauer, bei keiner Zeit nach der Oeffnung des modificirenden Stromes eine Ausnahme beobachtet.

Auch hier wächst mit wachsender Stromstärke die positive Modification von Null aus stetig an und erreicht schliesslich eine ganz ungeheure Grösse. So auffallend ist dieser Einfluss eines stärkeren modificirenden Stromes, dass nach Oeffnung desselben Reize, die vorher ganz wirkungslos waren, jetzt die allermächtigsten Erfolge zeigen. Die Stärke der Modification hängt ferner ganz besonders von der Nähe des constanten Stromes ab und ist im Allgemeinen der Grösse des dagewesenen Anelectrotonus proportional. Ich gebe nunmehr als Beleg einige meiner Versuchsreihen für verschiedene Werthe der Stromstärken.

Versuch I.

Schwacher modificirender Strom.

1ste Schliessung von 1″. Intervall der Reizungen = 30″.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht modificirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei modificirten Nerven.
1	0,5 Mm.	2	4,4 Mm.
		3	1,0 -
		4	0,1 -
2te Schliessung von 1″. Reizintervall = 1′.			
5	0,7 Mm.	6	4,8 Mm.
		7	3,5 -
		8	2,2 -
		9	1,3 -
		10	0,7 -
		11	0,7 -
		12	0,7 -
3te Schliessung von 1″. Reizintervall = 1′.			
13	1,5 Mm.	14	4,8 Mm.
		15	3,8 -
		16	1,8 -
		17	1,0 -

Digitized by Google

4te Schliessung von 2″. Reizintervall = 1′.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht modificirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei modificirten Nerven.
18	1,0 Mm.	19	4,2 Mm.
		20	0,8 -
		21	1,1 -

5te Schliessung von 2″. Reizintervall = 1′.

22	0,1 Mm.	23	4,7 Mm.
		24	3,6 -
		56	1,2 -

Versuch II.

Anwendung eines mittelstarken und sehr starken modificirenden Stromes.

1ste Schliessung von 1″. Reizintervall = $\frac{1}{2}$′. Mittelstarker Strom.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht modificirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei modificirten Nerven.
1	0,1 Mm.	2	5,4 Mm.
		3	0,0 -

2te Schliessung von 2″. Reizintervall = $\frac{1}{2}$′.

4	0,0 Mm.	5	5,5 Mm.
		6	3,8 -
		7	3,1 -
		8	3,1 -
		9	3,4 -

3te Schliessung von 1″. Reizintervall = $\frac{1}{2}$′. Abschwächung der Reizung.

10	0,1 Mm.	11	5,6 Mm.
		12	3,7 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht modificirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei modificirten Nerven.
		13	1,8 Mm.
		14	0,6 -

4te Schliessung von 1″. Reizintervall = $\frac{1}{2}'$.

15	0,9 Mm.	16	5,9 Mm.
		17	5,2 -
		18	4,5 -
		19	3,9 -
		20	4,8 -
		21	5,7 -

Nunmehr, da die Modification noch nicht verschwunden, wird die Reizung wieder herabgesetzt und ein sehr starker Strom (höhere Stufen des Zuckungsgesetzes) gewählt. Schliessungsdauer = 1″. Reizintervall = $\frac{1}{2}'$. Fortsetzung des Versuches. 5te Schliessung.

22	0,5 Mm.	23	6,1 Mm.
		24	3,5 -
		25	·3,1 -
		26	0,2 -

6te Schliessung von 1″. Reizintervall = $\frac{1}{2}'$.

27	0,5 Mm.	28	6,1 Mm.
		29	3,2 -
		30	0,5 -

7te Schliessung von 1″. Reizintervall = $\frac{1}{2}'$.

31	0,7 Mm.	32	6,0 Mm.
		33	4,1 -
		34	4,1 -
		35	2,8 -
		36	1,6 -
		37	1,6 -

Digitized by Google

8te Schliessung. Schliessungsdauer = 5 Minuten. Schwächung der Reizung, sodass die Zuckungsgrösse 0,7 kommt. Reizintervall = 1'.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht modificirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei modificirten Nerven.
38	0,7 Mm.	39	6,0 Mm.
		40	6,0 -
		41	5,3 -
		42	4,4 -
		43	4,4 -
		44	4,6 -
		45	4,5 -

Nach einer halben Stunde war die Zuckung noch = 4,6 Mm.

Wie man aus diesen Zahlen sieht, ist das Gesetz also sehr einfach und unterscheidet sich von demjenigen, welches das Abklingen des Katelectrotonus bestimmt, nur dadurch, dass sich zwischen Anelectrotonus und positive Modification keine nachweisbare negative Modification einschiebt, welche ich beim Anelectrotonus an frischen Nerven nie gesehen habe. Nur einmal kam es mir vor, dass der Anelectrotonus um ein Geringes die Oeffnung des Stromes zu überdauern schien, als ich die Electroden des polarisirenden Stromes nahe dem Querschnitte dem plexus sacralis angelegt hatte, und ebenso einmal bei Anlegung an die motorischen Wurzeln. Lag aber das Electrodenpaar des constanten Stromes an einer von dem Querschnitte weiter entfernten Stelle, wo die Einflüsse des Absterbens sich nicht geltend machen, so fand ich ausnahmslos bei jeder Stromstärke, bei jeder Stromesdauer nur die positive Modification auf den unmittelbar vorher anelectrotonisirten Stellen.

Die Richtung des prüfenden Stromes ist auch hier wie bei der Untersuchung des Abklingens des Katelectrotonus gleichgültig. So lässt sich denn auch mit Hülfe chemischer Reizung sehr schön die positive Modification demonstriren;

Digitized by Google

man applicirt dem Nerven einen Kochsalztropfen zwischen constantem Strom und Muskel. Er wird nach einigen Minuten noch nicht in Tetanus verfallen sein. Nun schliesse man den aufsteigenden Strom einen Augenblick. Der Oeffnung desselben folgt ein schwacher Tetanus des Muskels nach. Die Erscheinung ist ganz constant und kann nicht mit Ritter'schem Tetanus verwechselt werden, weil dieser nach 1 Secunde Schliessung nach meiner Entdeckung, bei starken Strömen wohl, niemals aber bei schwachen eintritt, welche man deshalb hier anwenden muss.

Ich verlasse nunmehr auch dieses Kapitel und wende mich zu dem vierten Abschnitte der Untersuchungen.

Digitized by Google

Abschnitt IV.

Untersuchung der Veränderung der Erregbarkeit vor dem absteigenden Strome.

Kapitel I.

Nachweisung des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus.

Die Nachweisung des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus geschieht in genau derselben Weise, welche bereits oben von mir weitläufig auseinandergesetzt worden ist, als ich die Veränderung der Erregbarkeit vor dem aufsteigenden Strome abhandelte. Alles dort Gesagte ist mutatis mutandis hierher zu übertragen. Ich habe auch hier den Nachweis der Erhöhung der Erregbarkeit vor dem absteigenden Strome genau so geführt, wie es dort auseinandergesetzt worden ist, also:

1) mit Hülfe der Schliessung eines aufsteigenden Kettenstromes,
2) mit Hülfe der Schliessung eines absteigenden Kettenstromes,
3) mit Hülfe eines absteigenden Oeffnungsinductionsschlages,
4) mit Hülfe eines absteigenden Schliessungsinductionsschlages,
5) mit Hülfe der chemischen Reizung.

Als Beleg gebe ich eine der zahlreichen Versuchsreihen, welche zum Zweck hatten, die Uebereinstimmung darzuthun, die zwischen auf- und absteigendem Katelectrotonus stattfindet. Als Reiz diente bei folgendem Versuche der Schliessungsinductionsschlag.

Digitized by Google

Versuch.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,3 Mm.	2	8,6 Mm.
3	0,5 -	4	9,5 -
5	0,5 -	6	9,7 -
7	0,3 -	8	9,0 -
9	0,3 -	10	9,9 -
11	0,3 -	12	10,1 -
13	0,3 -	14	9,1 -
15	0,3 -	16	10,0 -
17	0,3 -	18	9,7 -
19	0,3 -	20	9,4 -
21	0,3 -	22	9,5 -
23	0,3 -	24	8,6 -
25	0,3 -	26	8,9 -
27	0,1 -	28	9,4 -
29	0,1 -	30	10,0 -

Länge des Musculus gastroknemius = 38 Mm. — Ablenkung der Multiplicatornadel bei halber Länge = 50°. — Abstand der Electrodenpaare = 10 Mm.

Die mit Hülfe der anderen electrischen Reizmethoden angestellten Versuchsreihen lehren nichts Neues; weshalb ich keine derselben hier anzugeben brauche. Die nothwendigen Controlversuche wurden auch hier genau so wie bei Nachweisung des aufsteigenden Katelectrotonus angestellt. Nachdem wir uns auch dann mit Hülfe der chemischen Reizung von demselben Gesetze überzeugten, können wir als bewiesen betrachten:

„dass die Erregbarkeit vor dem absteigenden ebenso wie vor dem aufsteigenden Strome erhöht sei.“

Digitized by Google

Wie man bereits aus der mitgetheilten Zahlenreihe übersieht, ist die Erhöhung der Erregbarkeit ausserordentlich gross. Denn selbst bei noch bedeutenderer Abschwächung der Reizung, sodass lange keine Zuckung mehr vom nicht polarisirten Nerven aus entsteht, erscheint nach Schliessung des absteigenden Stromes eine Maximumzuckung durch denselben Reiz.

Wie natürlich musste ich nun daran denken, diese wichtige Thatsache zu verwerthen, um so mehr als eine Reihe der grössten Probleme ungelöst vorliegen, weil der Froschschenkelnerv nicht empfindlich genug ist. Eines der wichtigsten unter diesen ist die Natur der negativen Schwankung des ruhenden Nervenstromes, das heisst die Frage nach der Stetigkeit oder Discontinuität der dabei stattfindenden Zustände. Ich versuchte also mit anderen Worten secundäre Zuckung oder Tetanus durch die negative Schwankung des ruhenden Nervenstromes mit Hülfe des in seiner Erregbarkeit so sehr gesteigerten Schenkels darzuthun. Die specielle Ausführung des Versuches geschah nun folgendermaassen. Dicht in der Nähe der negativen Electrode wurde dem mit dem tetanisirten Nerven zu reizenden Nervus ischiadicus ein zweiter Nerv mit Quer- und Längsschnitt so angelegt, dass der erstere den Strom des letzteren schloss. Der primär zu tetanisirende Nerv wurde dann mit seinem andern freien Ende über die Bleche der stromzuführenden Vorrichtung gelegt, welche selbst wieder mit der secundären Inductionsspirale des Schlittenmagnetelectromotors in Verbindung gesetzt war. Sorgfältig hatte ich alle diejenigen Vorsichtsmaassregeln getroffen, welche zur Vermeidung der unipolaren Wirkungen nothwendig sind. Die Methode zu tetanisiren bestand darin, dass zu gegebener Zeit eine zu dem Nerven angebrachte metallische Nebenschliessung von geringem Widerstande entfernt wurde. Es blieb nun noch eine Vorsichtsmaassregel zu treffen, welche dahin gerichtet war, den vielleicht entstehenden secundären Tetanus unterscheiden zu können von dem bekannten secundären Tetanus vom Nerven aus, dessen Ursache aber nicht in der negativen Schwankung, sondern im Electrotonus

Digitized by Google

zu suchen ist. Dies musste aber hier ganz entschieden beachtet werden, weil ja du Bois-Reymond nachgewiesen hat, dass selbst die flüchtigsten Inductionsströme den Electrotonus in merkbarer Grösse entwickeln. Zu dem Ende legte ich dem primär zu tetanisirenden Nerven noch einen dritten an, so zwar, dass letzterer mit dem plexus sacralis der Mitte desselben entlang lag. Hier zu beiden Seiten und in geringer Entfernung vom electromotorischen Aequator konnte also dieser Phasenwächter nur von den äusserst schwachen Strömen der schwachen Anordnungen für den ruhenden Nervenstrom durchflossen sein, sodass unter keinen Umständen eine Erregung durch negative Schwankung zu gewärtigen war. Gleichwohl aber musste der Phasenwächter viel früher und energischer in Tetanus verfallen als der Nerv, den wir durch die negative Schwankung zu erregen wünschen, wenn nämlich der vielleicht beobachtete secundäre Tetanus im Electrotonus seinen Grund hätte. Würde aber der secundär durch die negative Schwankung zu reizende Schenkel nunmehr bei Tetanisiren des primär erregten in Tetanus verfallen sein, während der Phasenwächter ruhig geblieben, so wäre unmittelbar der Beweis gestellt, dass die negative Schwankung wirklich secundären Tetanus hervorzubringen vermöge. Der Versuch würde aber noch um so unverdächtiger gewesen sein, als der Phasenwächter zugleich die Stromesschleifen und unipolaren Wirkungen auch nothwendig anzeigen musste. Ich habe nun den Versuch mit allen möglichen Stärken des constanten Stromes angestellt. Der Schenkel, welcher secundär zucken sollte, verharrte in hartnäckigem Schweigen, selbst als ich die secundäre Rolle bis nahe an die primäre heranschob, welche von dem Strome eines kleinen Grove'schen Elementes durchflossen war. Ging ich noch weiter, so verfiel erst der Phasenwächter und dann auch der andere Schenkel in Tetanus, sei es wegen unipolarer Wirkung oder wegen der säulenartigen Polarisation, die der Inductionsstrom erzeugte. Ich musste also mit einem Worte unverrichteter Sache abziehen von einem Versuche, der gleichwohl einmal hätte angestellt werden müssen. Man könnte nun noch sagen, dass vielleicht

Digitized by Google

der aufsteigende polarisirende Strom günstiger sei, zumal wenn man die Erregbarkeit des schon so sehr erregbaren plexus sacralis noch mehr hinauftreibe. Ich habe auch dies versucht. Aber auch hier war das hartnäckige Schweigen des Schenkels, welcher secundär zucken sollte, nicht zu brechen.

Nach dieser kleinen Abschweifung kehre ich zu dem eigentlichen Gegenstande unserer Betrachtung wieder zurück.

Wir wenden uns sofort zur Untersuchung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus von seinen verschiedenen Variabeln.

Kapitel II.

Ueber den Einfluss des Abstandes einer gegebenen Nervenstrecke von den Electroden des constanten Stromes auf die Stärke des extrapolaren Katelectrotonus.

Auch hier führten alle Versuchsreihen zu der Thatsache, dass die Wirkung des Stromes um so kleiner scheint, je weiter eine gegebene Nervenstrecke von der intrapolaren entfernt ist.

1. Nachweisung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der Mittelwerthe.

Ich habe diese Methode und die Art ihrer Anwendung bereits oben (p. 186) discutirt und kann mich deshalb sofort den Versuchen zuwenden. Die Stärke des polarisirenden Stromes war so, dass sie einer constanten Ablenkung von 48° am Museumsmultiplicator bei halber Länge entsprach. Doch habe ich hier zu bemerken, dass bei dieser Methode nur 2 Punkte und nicht 3, wie vorher, bestimmt wurden, weil die Versuche in einer sehr ungünstigen Jahreszeit (Ende

Digitized by Google

Februar) angestellt wurden, wo das rasche Absterben vom Querschnitte aus und die dadurch herbeigeführte Inconstanz der Erscheinungen mich zwangen, den polarisirenden Strom möglichst weit vom Querschnitte zu entfernen. Hierdurch wird aber natürlich die noch verwendbare Länge des Nerven bedeutend verkürzt, die Untersuchung also sehr erschwert. Obwohl ich nun die Abstände von 5 Mm. und 20 Mm. doch untersuchen konnte, so war der Unterschied der Zuwächse nicht sehr bedeutend, wodurch es mir abermals scheinen wollte, als pflanze sich die säulenartige Polarisation doch leichter im motorischen Nerven in centrifugaler als centripetaler Richtung fort. Leider sind strenge Bestimmungen hier nur sehr schwer oder vielleicht gar nicht zu geben. Gleichwohl mochte ich nicht unterlassen, darauf hingewiesen zu haben.

Als Beleg mögen folgende Versuchsreihen dienen:

A. Versuche, bei denen der Abstand der Electrodenpaare = 5 Mm. gesetzt ist.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,3 Mm.	2	7,7 Mm.
3	0,3 -	4	7,7 -
5	0,3 -	6	6,7 -
7	0,3 -	8	7,8 -
9	0,5 -	10	7,8 -
11	0,3 -	12	7,9 -
13	0,5 -	14	8,0 -
15	0,5 -	16	8,1 -
17	0,5 -	18	8,1 -
19	0,2 -	20	8,1 -
21	0,3 -	22	8,2 -
23	0,3 -	24	8,3 -
25	0,3 -	26	8,4 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
27	0,3 Mm.	28	8,4 Mm.
29	0,5 -	30	8,4 -
31	0,5 -	32	8,4 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 35 Mm.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,7 Mm.	2	7,4 Mm.
3	0,4 -	4	7,8 -
5	0,7 -	6	7,6 -
7	0,8 -	8	7,8 -
9	0,5 -	10	7,9 -
11	0,6 -	12	7,0 -
13	0,7 -	14	7,9 -
15	0,7 -	16	7,9 -
17	0,5 -	18	7,9 -
19	0,5 -	20	7,9 -
21	0,2 -	22	7,9 -
23	0,4 -	24	7,8 -
25	0,1 -	26	7,9 -
27	0,4 -	28	7,9 -
29	0,4 -	30	7,9 -
31	0,4 -	32	7,0 -
33	0,3 -	34	7,8 -
35	0,1 -	36	7,9 -
37	0,3 -	38	7,8 -
39	0,1 -	40	7,9 -
41	0,3 -	42	7,8 -
43	0,1 -	44	7,8 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 36 Mm.

Digitized by Google

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,3 Mm.	2	7,4 Mm.
3	0,5 -	4	7,5 -
5	0,6 -	6	7,7 -
7	0,9 -	8	7,7 -
9	0,7 -	10	7,7 -
11	0,2 -	12	7,5 -
13	0,2 -	14	7,6 -
15	0,6 -	16	7,9 -
17	0,3 -	18	7,9 -
19	0,6 -	20	7,9 -
21	0,6 -	22	8,0 -
23	0,6 -	24	7,9 -
25	0,6 -	26	7,9 -
27	0,3 -	28	8,0 -
29	0,2 -	30	8,0 -
31	0,2 -	32	8,0 -
33	0,4 -	34	8,1 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 36 Mm.

B. Versuche, bei denen der Abstand der Electrodenpaare = 20 Mm gesetzt ist.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	2,0 Mm.	2	3,5 Mm.
3	2,0 -	4	3,6 -
5	2,0 -	6	3,5 -
7	2,0 -	8	3,5 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
9	2,0 Mm.	10	3,5 Mm.
11	2,0 -	12	3,5 -
13	2,0 -	14	3,5 -
15	2,0 -	16	3,0 -
17	2,0 -	18	2,9 -
19	2,0 -	20	2,0 -
21	2,0 -	22	2,0 -
23	2,0 -	24	2,0 -
25	2,0 -	26	2,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 35 Mm.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,9 Mm.	2	2,7 Mm.
3	1,0 -	4	2,7 -
5	1,1 -	6	2,3 -
7	1,1 -	8	2,2 -
9	1,1 -	10	3,0 -
11	1,2 -	12	3,2 -
13	1,2 -	14	2,4 -
15	1,2 -	16	2,7 -
17	1,2 -	18	2,4 -
19	1,2 -	20	2,4 -
21	1,2 -	22	2,3 -

Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 39 Mm.

Digitized by Google

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,8 Mm.	2	3,1 Mm.
3	0,3 -	4	4,0 -
5	0,3 -	6	3,5 -
7	0,6 -	8	3,9 -
9	0,3 -	10	3,0 -
11	0,5 -	12	4,1 -
13	0,5 -	14	2,2 -
15	0,5 -	16	2,4 -
17	0,5 -	18	3,1 -

Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 34 Mm.

Von den übrigen nicht in specie mitzutheilenden Versuchsreihen erlaube ich mir nun noch die berechneten Mittelwerthe der Zuckungszuwächse zu geben.

Mittelwerth des Zuckungszuwachses bei einem Abstande der Electrodenpaare von 5 Mm.	Mittelwerth des Zuckungszuwachses bei einem Abstande der Electrodenpaare von 20 Mm.
+ 6,4 Mm.	+ 1,5 Mm.
+ 7,9 -	+ 6,2 -
+ 7,2 -	+ 5,9 -
+ 9,4 -	+ 5,2 -
+ 7,3 -	+ 5,8 -
+ 7,6 -	+ 3,0 -
+ 7,9 -	+ 2,4 -
+ 6,8 -	+ 2,7 -

Nach derselben Methode der Mittelwerthe habe ich sodann ähnliche Versuchsreihen entworfen, für den Fall, dass nicht wie hier ein Schliessungsinductionsstrom als Reiz auftrat, sondern die Schliessung einer Kette, und zwar in aufsteigender Richtung, was zur Compensation der aus der Einmischung

Digitized by Google

der Ströme des Electrotonus entstehenden Fehler durchaus nothwendig ist. Die Versuchsreihen führten zu genau denselben Resultaten wie die bereits mitgetheilten.

In gleicher Weise wurde wie bei dem aufsteigenden Katelectrotonus der Beweis mit Hülfe der chemischen Reizung nach einer der Methode der Mittelwerthe ähnlichen geführt.

Für alle diese Methoden sind mutatis mutandis dieselben Fehlerquellen und Bedenken vorhanden, welche aber unser Resultat nicht beeinträchtigt haben, was durch dieselben Versuche und Betrachtungen widerlegt wird, welche wir bereits oben weitläufig auseinandergesetzt haben.

2. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der Verschiebung der Reizelectroden.

Ich habe die Art der Anwendung dieser Methode nebst ihrer Rechtfertigung bereits oben (p. 215 ff.) dargelegt, sodass wir uns den Versuchen unmittelbar zuwenden können, von denen ich einige Beispiele mittheile.

Versuch I.

Abstand der Electrodenpaare = 5 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,3 Mm.	2	6,2 Mm.
3	1,3 -	4	6,3 -
5	1,4 -	6	6,5 -
7	1,4 -	8	6,6 -

Nunmehr wird der Abstand durch Verschiebung der Reizelectroden = 20 Mm. gesetzt und mit dem Versuche fortgefahren:

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
9	1,6 Mm.	10	4,2 Mm.
11	1,5 -	12	4,0 -
13	1,7 -	14	4,5 -
15	1,6 -	16	3,5 -
17	1,8 -	18	3,3 -
19	1,7 -	20	4,5 -
21	1,8 -	22	3,4 -
23	1,9 -	24	3,5 -

Hierauf wird wieder der Abstand = 5 Mm. gesetzt:

25	1,0 Mm.	26	7,0 Mm.
27	0,6 -	28	6,7 -
29	0,6 -	30	7,3 -
31	0,6 -	32	7,4 -
33	0,5 -	34	7,6 -
35	1,2 -	36	7,5 -

Versuch II.

Abstand = 5 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,5 Mm.	2	8,1 Mm.
3	0,5 -	4	8,1 -
5	0,5 -	6	8,2 -

Hierauf wird der Abstand = 20 Mm. gesetzt:

7	0,5 Mm.	8	3,2 Mm.
9	0,5 -	10	3,9 -
11	0,5 -	12	4,8 -

Digitized by Google

Endlich abermals der Abstand = 5 Mm.:

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
13	0,2 Mm.	14	7,1 Mm.
15	0,5 -	16	7,1 -
17	0,5 -	18	7,5 -
19	0,5 -	20	7,5 -
21	0,3 -	22	6,6 -
23	0,4 -	24	7,3 -

3. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der Verschiebung der dem polarisirenden Strome angehörenden Electroden.

Die Darlegung und Begründung dieser Methode hat bereits oben (p. 221 ff.) stattgefunden, sodass ich hier nur einen Punkt noch zu besprechen brauche. Wir wollen nämlich bei dieser Methode die stärkere Wirkung von demjenigen polarisirenden Strome sehen, welcher dem Muskel näher den Nerven durchfliesst. Oben aber fanden wir, dass im Allgemeinen die tieferen Stellen eine grössere specifische Empfänglichkeit für den electrotonischen Zustand haben, sodass also der Erfolg der Steigerung der Stromwirkung mit seiner Annäherung an die gereizte Stelle eine andere Deutung möglich macht als diejenige, welche uns jetzt von Interesse ist. Ich kann indessen gegen diese Deutung nur den allerdings gewichtigen Wahrscheinlichkeitsgrund anführen, dass dieselbe unmöglich für die vier Combinationen der Untersuchung die Erklärung abgeben kann, nothwendig bei zweien nicht ausreicht, ja sogar unmöglich ist, während man doch nicht wohl bezweifeln kann, dass der Erfolg bei allen vier Combinationen aus derselbe Ursache ableitbar sei.

Digitized by Google

Der Versuch bestätigt nun auch nach dieser Methode das Gesetz auf das Schönste. Ich theile einige dieser Versuchsreihen mit.

Versuch I.

Abstand = 20 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,6 Mm.	2	3,1 Mm.
3	0,6 -	4	2,1 -
5	0,7 -	6	1,3 -
7	0,8 -	8	0,9 -
9	0,4 -	10	1,0 -

Ich mache hierauf den Abstand = 7 Mm. und setze den Versuch fort:

11	0,3 Mm.	12	7,2 Mm.
13	0,4 -	14	7,3 -
15	0,4 -	16	7,4 -
17	0,4 -	18	7,4 -
19	0,5 -	20	7,2 -
21	0,5 -	22	7,1 -
23	0,5 -	24	6,8 -
25	0,4 -	26	6,8 -
27	0,4 -	28	6,5 -
29	0,5 -	30	6,4 -
31	0,7 -	32	6,2 -
33	1,0 -	34	6,5 -

Ich lasse diesem Versuche noch einen folgen, welcher einer der besten ist, die ich besitze, da die Constanz in der Stärke der Zuckungen trotz des fortwährenden Wechsels von natürlichem Zustand und Electrotonus gewiss überraschend ist.

Digitized by Google

Versuch II.

Abstand = 20 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,3 -	2	3,6 -
3	0,3 -	4	5,1 -
5	0,3 -	6	5,1 -
7	0,3 -	8	5,1 -
9	0,3 -	10	5,1 -
11	0,4 -	12	5,1 -
13	0,3 -	14	5,1 -
15	0,3 -	16	5,1 -
17	0,5 -	18	5,1 -

Hierauf wird der Abstand der Electrodenpaare = 5 Mm. gesetzt und mit dem Versuche fortgefahren:

19	0,3 -	20	10,7 -
21	0,2 -	22	10,6 -
23	0,3 -	24	10,8 -
25	0,2 -	26	10,8 -
27	0,2 -	28	10,8 -
29	0,2 -	30	10,8 -
31	0,2 -	32	10,8 -
33	0,2 -	34	10,7 -
35	0,3 -	36	10,6 -
37	0,2 -	38	10,8 -
39	0,2 -	40	10,9 -
41	0,2 -	42	10,8 -
43	0,2 -	44	10,8 -
45	0,2 -	46	10,8 -
47	1,1 -	48	10,8 -

Wir haben also auch durch diese Methode das Gesetz in recht auffälliger Weise constatiren können. Die Control-

Digitized by Google

versuche wurden ebenso wie bei der analogen Frage des aufsteigenden Katelectrotonus angestellt.

4. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Entfernung der negativen Electrode mit Hülfe der Methode der chemischen Reizung.

Die genaue Discussion dieser Methode habe ich bereits oben bei Erörterung der analogen Fragen (p. 227 ff.) gegeben. Die Resultate, zu denen man auf diese Weise geführt wird, sind durchaus dieselben, wie beim aufsteigenden Katelectrotonus. Natürlich muss nur bei letzterem die Stromstärke die uns bekannte Grenze nicht überschritten haben, was in gewisser, aber anderer Beziehung auch für diese Demonstration des Gesetzes beim absteigenden Katelectrotonus Geltung hat. Man darf nämlich natürlich nicht den Strom so stark nehmen, dass bereits von der entfernten polarisirten Stelle her der Muskel zum Maximum des Tetanus veranlasst wird, welches, beiläufig bemerkt, das Zuckungsmaximum um Vieles, bis zum Doppelten, übersteigt. Bei der electrischen Reizung ist dies weniger nothwendig, weil man hier den Reiz selbst beliebig abschwächen kann.

Die erhaltenen Curven nun befolgen genau dasselbe Gesetz wie diejenigen, welche ich in Fig. 10, 11 und 12 mitgetheilt habe, sodass ich mich auf diese und ihre Erklärung (s. p. 233 ff.) beziehen kann, welche mutatis mutandis auch hier ihre Anwendung findet.

Somit war denn auch für den absteigenden Katelectrotonus das allgemeine Gesetz erwiesen, dass die Stärke des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus mit der Entfernung von der negativen Electrode abnimmt und schliesslich verschwindet.

Digitized by Google

Kapitel III.

Untersuchung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Stärke des constanten electrotonisirenden Stromes.

Es wird auch hier wie bei Untersuchung des aufsteigenden Katelectrotonus unsere Aufgabe sein, den Lauf der Function der Stromstärke äusserst genau zu überwachen, damit uns nicht ein möglicherweise vorhandener ausgezeichneter Punkt der untersuchten Curve entgehen möge. Die freilich langwierige und wenig unterhaltende, äusserst zeitraubende, aber dafür auch durchaus sichere und exacte Methode habe ich bereits oben (p. 236 ff.) beim aufsteigenden Katelectrotonus dargelegt. Sie ist auch hier mit derselben Sorgfalt in Anwendung gebracht worden und führte mich schliesslich zu dem einfachen, ganz allgemeinen Gesetze:

„dass die Stärke des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus mit der Stromstärke von Null aus fortwährend wächst."

Einen ausgezeichneten Punkt besitzt die Curve nicht; er würde uns nicht haben entgehen können, womit ich aber nur behauptet haben will, dass die Function niemals mit weiter wachsender Stromstärke abnimmt. Dagegen kann ich nicht sagen, ob sie vielleicht nicht bei höherer Stromstärke concav gegen die Abscisse wird, während sie vorher convex war, weil sie sich einem Maximum nähert.

Was die quantitativen Verhältnisse betrifft, so fällt auch hier zunächst die äusserst geringe Stromstärke auf, welche bereits den absteigenden Katelectrotonus in merkbarem Grade hervorbringt. So habe ich denselben auch hier mit Hülfe des Nervenstromes, welcher als polarisirender Strom angewendet wurde, darthun können. Ich werde diesen Versuch unten mittheilen. Was nun den Beweis des Anwachsens der Function mit der Stromstärke betrifft, so wird er stets so gestellt, dass man

Digitized by Google

durch Abschwächung der Reizung mit Hülfe des schwächeren polarisirenden Stromes eben eine geringe Wirkung desselben wahrnimmt, welche dann durch Uebergehen zur höheren Stromstärke vermehrt wird. — Der Beweis, dass der Katelectrotonus sich über grössere Strecken mit wachsender Stromstärke fortpflanze, wurde genau so wie beim Anelectrotonus gestellt, und auch hier wie dort dargethan, dass keine asymptotische Grenze nachweisbar sei, bis zur welcher sich überhaupt der Katelectrotonus fortzupflanzen vermöge.

Als Beleg mögen nun einige Versuche aus meiner zahlreichen Sammlung hier eine Stelle finden.

Versuch I.

(Anwendung des Nervenstromes als polarisirenden Stromes in absteigender Richtung.)

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,2 Mm.	2	3,0 Mm.
3	1,2 -	4	3,0 -
5	0,4 -	6	3,0 -
7	0,4 -	8	1,9 -
9	0,4 -	10	2,1 -
11	0,4 -	12	1,5 -
13	0,4 -	14	1,7 -
15	0,4 -	16	1,9 -
17	0,4 -	18	2,0 -
19	0,6 -	20	2,1 -
21	0,1 -	22	1,5 -
23	0,5 -	24	1,1 -

Die polarisirte Länge betrug 20 Mm. Der Nervenstrom war von der centralen Hälfte des polarisirenden Ischiadicus abgeleitet, weil die electromotorische Kraft nach einer Angabe du Bois-Reymond's in der oberen stärker ist.

Digitized by Google

Versuch II.

A. Schwacher Strom. Ablenkung der Nadel des Museums-multiplicators bei halber Länge = 1°.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,9 Mm.	2	3,0 Mm.
3	0,9 -	4	2,5 -
5	0,9 -	6	2,8 -
7	0,9 -	8	3,0 -
B. Starker Strom mit Ablenkung = 26°.			
9	0,3 -	10	8,0 -
11	0,9 -	12	8,5 -
13	0,4 -	14	8,7 -
15	0,4 -	16	9,0 -
C. Wieder schwacher Strom.			
17	0,4 -	18	4,0 -
19	0,9 -	20	4,3 -
21	0,4 -	22	4,3 -
23	0,9 -	24	4,3 -
D. Wieder stärkerer Strom.			
25	0,3 -	26	9,0 -
27	0,3 -	28	9,2 -
29	0,3 -	30	9,2 -
31	0,3 -	32	9,2
E. Wieder schwächerer Strom.			
33	0,3 -	34	5,8 -
35	0,3 -	36	5,1 -
37	0,3 -	38	5,2 -
39	0,3 -	40	5,3 -

Digitized by Google

F. Wieder stärkerer Strom.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
41	1,0 Mm.	42	9.5 Mm.
43	1,0 -	44	9,5 -
45	0,3 -	46	9,5 -
47	0,4 -	48	9,5 -

Aehnlich wie diese Verhältnisse nehmen sich nun bei Vergleichung der höheren Stromstärken die Tabellen aus; nur hat man in der Columne für die Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven die Werthe 0,0 Mm. Ich bin auch hier wie bisher vom Werthe 0 bis zur Stromstärke von 10 Grove'schen Elementen gegangen.

Kapitel IV.

Untersuchung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Länge der intrapolaren Strecke.

Die Methoden, welche hier in Anwendung kommen, sind mutatis mutandis dieselben, welche oben von mir ausführlich dargelegt wurden (s. p. 249 ff.). Nach beiden Methoden wurde nun für jede Stromstärke die bereits oben (Abschn. I. Kap. IV) verzeichneten Verhältnisse der Längen durchgeprüft. Das allgemeine Gesetz, zu welchem die so mühevolle Untersuchung führte, lässt sich wieder einfach dahin aussprechen:

„dass der absteigende Katelectrotonus mit wachsender Länge in rascher Zunahme begriffen sei."

Ich habe dies Gesetz bei jeder Stromstärke bestätigt gefunden. Nur ist dasselbe bei hohen Stromeskräften nicht mehr so scharf ausgesprochen wie bei niederen. Als bewei-

Digitized by Google

sendes Beispiel des allgemeinen Gesetzes mögen folgende Versuche noch mitgetheilt werden, bei denen der Reiz ein absteigender Schliessungsinductionsschlag war.

Versuch I.

A. Kurze Strecke.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	0,9 Mm.	2	5,7 Mm.
3	1,0 -	4	5,6 -
5	0,9 -	6	5,9 -
7	0,9 -	8	5,9 -
9	0,8 -	10	5,5 -
B. Lange Strecke.			
11	0,8 -	12	6,8 -
13	0,9 -	14	6,7 -
15	0,8 -	16	6,6 -
17	0,8 -	18	6,6 -
19	1,0 -	20	6,5 -

Die Specialbedingungen waren: l : L = $1\frac{1}{3}$ Mm. : 5 Mm. Ablenkung der Nadel bei halber Multiplicatorlänge von der langen Strecke aus = 3,5°, von der kurzen = 4°. Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 35 Mm.

Versuch II.

A. Kurze Strecke.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	1,3 Mm.	2	3,9 Mm.
3	1,3 -	4	4,3 -
5	1,3 -	6	4,3 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
7	1,3 Mm.	8	4,1 Mm.
9	1,3 -	10	3,8 -
11	1,3 -	12	3,1 -
13	1,2 -	14	3,1 -
	B. Lange Strecke.		
15	1,2 -	16	6,8 -
17	1,1 -	18	6,8 -
19	1,0 -	20	6,5 -
21	1,1 -	22	6,9 -
23	1,1 -	24	6,9 -
25	1,0 -	26	6,8 -
27	0,9 -	28	6,8 -
29	1,3 -	30	6,9 -
31	1,0 -	32	6,8 -

Bei diesem Versuche war $1 : L = 1\frac{1}{2}$ Mm. : 30 Mm. Der Schenkel zeigt von der langen Strecke das sogenannt verkehrte Nobili'sche Gesetz, d. h. nur Oeffnungszuckung bei absteigendem, nur Schliessungszuckung bei aufsteigendem Strome. Merkwürdig war, dass auch der andere Schenkel von der langen Strecke aus dasselbe Verhalten mit Bezug auf das Zuckungsgesetz darbot. — Die Stromstärke von der langen Strecke brachte eine Ablenkung von 4°, von der kurzen eine von 7° hervor. Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 36 Mm.

Endlich sei hier noch die Bemerkung gemacht, dass ich auch Versuchsreihen besitze, wo viele Male mit demselben Erfolge mit langer und kurzer Strecke abgewechselt wurde.

Ich habe nun ausserdem noch den Einfluss der Länge mit Hülfe der chemischen Reizung constatirt, ganz so, wie es beim aufsteigenden Katelectrotonus dargelegt worden ist. Die Resultate waren dieselben, wie die mit electrischer Rei-

Digitized by Google

zung erhaltenen. Die Controlversuche bleiben mutatis mutandis ebenfalls dieselben, wie bei der analogen Frage, welche sich auf den aufsteigenden Katelectrotonus bezieht.

Kapitel V.

Untersuchung der Abhängigkeit des absteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Zeit.

Die Methoden bleiben wiederum dieselben, welche bei Behandlung der Abhängigkeit des aufsteigenden extrapolaren Katelectrotonus von der Zeit in Anwendung gekommen sind (s. p. 264 ff.)

Die Gesetze, zu welchen die Untersuchung führt, unterscheiden sich nur in einigen wenigen Punkten von den analogen des aufsteigenden Katelectrotonus. Doch dürfte auch diese Nichtübereinstimmung wohl nur scheinbar sein.

Bei der Schliessung des polarisirenden Stromes erscheint mit den Sinnen entschwindender Geschwindigkeit der absteigende Katelectrotonus und wächst dann noch rasch um ein Geringes an. Bei fortdauernder Schliessung nimmt er ganz allmälig und sehr langsam wieder ab, wobei zugleich die Nervenlänge, welche er beherrscht, sich verkleinert. Ebenso plötzlich, wie der Katelectrotonus bei der Schliessung erschienen, verschwindet er wieder bei der Oeffnung und geht durch die negative Modification dann in die positive über, welche nur sehr langsam wieder nach Minuten den Nerven verlässt. Im Speciellen stellen sich nun diese Verhältnisse folgendermaassen dar. Wendet man schwache modificirende Ströme an, so beobachtet man bei einigermaassen schneller Reizung nach Oeffnung des Stromes eine schwache negative Modification, die aber bald in die positive übergeht. Die letztere verschwindet wieder nur sehr langsam aus dem Nerven. Offenbar ist dies genau dasselbe Verhalten, welches wir bei Untersuchung des Abklingens des aufsteigenden Katelectro-

Digitized by Google

tonus kennen gelernt haben. Wendet man aber mittelstarke und starke modificirende Ströme auf den Nerven an, so tritt die positive Modification mit solcher Kraft und Schnelligkeit nach der Oeffnung des Stromes auf, dass es bei frischen Nerven nicht leicht gelingt, einmal eine Spur von negativer Modification noch bei äusserst rascher Reizung nach der Oeffnung des modificirenden Stromes zu erhaschen. Jener oben angegebene Kunstgriff bringt aber auch bei hohen Stromeskräften die negative Modification unfehlbar zum Vorschein (s. p. 274). Also auch in diesem Punkte stimmt der abklingende absteigende Katelectrotonus durchaus mit dem aufsteigenden überein. — Was nun den Einfluss der Stromesdauer betrifft, so schien mir diese bei frischen Nerven wenig zu ändern; denn bei stärkeren Strömen und Schliessung bis zu einer ½ Stunde erschien nach der Oeffnung eine ausserordentlich starke positive Modification. Bei schwächeren Strömen aber ist wegen der geringeren modificirenden Wirkung die Untersuchung sehr erschwert, obschon ich für eine und mehrere Minuten das oben ausgesprochene Gesetz ebenfalls verbürgen kann.

Ich gebe nunmehr noch einige Versuche, um dem Leser eine Anschauung von den quantitativen Veränderungen vorzulegen, welche in Bezug auf Erregbarkeit und Zeit hier zu beobachten sind.

A. Sehr schwacher Strom.

Versuch I.

1ste Schliessung von 1 Secunde. Reizintervall = 15″.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht modificirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei modificirten Nerven.
1	1,2 Mm.	2	0,9 Mm.
		3	1,5 -
		4	1,8 -
		5	1,3 -
		6	1,2 -

Digitized by Google

2te Schliessung von 2″. Reizintervall = 15″.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht modificirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei modificirten Nerven.
7	2,2 Mm.	8	0,5 Mm.
		9	2,1 -
		10	2,3 -
		11	2,3 -
		12	2,8 -
		13	2,3 -
3te Schliessung von 2″. Reizintervall = 15″.			
14	0,9 Mm.	15	0,1 Mm.
		16	1,4 -
		17	1,8 -
		18	1,2 -
4te Schliessung von 2″. Reizintervall = 15″.			
19	1,7 Mm.	20	0,0 Mm.
		21	1,7 -
		22	0,9 -
		23	2,4 -
		24	2,4 -
5te Schliessung von 2″. Reizintervall = 15″.			
25	1,5 Mm.	26	0,0 Mm.
		27	2,4 -
		28	1,4 -

B. Starker Strom.

Versuch II.

(Bei diesem Versuche wird immer abgewartet, bis die Modification erst ganz unmerkbar geworden, und dann aufs Neue modificirt. Auf diese Weise sieht man die negative Modification nicht.)

Digitized by Google

1ste Schliessung von 1″. Reizintervall = 30″.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht modificirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei modificirten Nerven.
1	0,5 Mm.	2	5,8 Mm.
		3	5,3 -
		4	4,2 -
		5	3,5 -
		6	0,8 -
2te Schliessung von 1″. Reizintervall = 30″.			
7	1,7 Mm.	8	4,9 Mm.
		9	4,2 -
		10	4,1 -
		11	3,9 -
		12	4,2 -
		13	4,1 -
		14	2,8 -
		15	2,6 -
		16	1,8 -
		17	0,6 -
		18	0,1 -

Versuch III.

(Bei diesem Versuche wird das Verschwinden der Modification nicht abgewartet, sondern der Reiz compensirt, um die negative Modification zur Erscheinung zu bringen.)

1ste Schliessung von 1″. Reizintervall = 30″.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht modificirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei modificirten Nerven.
1	0,2 Mm.	2	1,5 Mm.
		3	2,1 -
		4	2,9 -

Digitized by Google

2te Schliessung von 1″. Reizintervall = 30″. Compensation der Reizung.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht modificirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei modificirten Nerven.
5	0,2 Mm.	6	1,0 Mm.
		7	1,8 -
		8	2,0 -
		9	2,3 -

3te Schliessung. Dieselben Bedingungen.

10	2,1 Mm.	11	2,0 Mm. (!)
		12	3,2 -
		13	3,5 -

4te Schliessung. Dieselben Bedingungen wie bisher.

14	3,5 Mm.	15	2,3 Mm.
		16	3,8 -

5te Schliessung.

17	3,8 Mm.	18	3,1 Mm.
		19	3,2 -
		20	3,9 -
		21	3,9 -

6te Schliessung.

22	2,7 Mm.	23	0,0 Mm.
		24	2,2 -
		25	3,6 -

7te Schliessung.

26	3,9 Mm.	27	1,0 Mm.
		28	4,1 -

Digitized by Google

8te Schliessung.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
29	0,5 Mm.	30	0,0 Mm.
		31	2,2 -
		32	2,0 -
		33	1,7 -
		34	2,3 -
		35	2,0 -
		36	0,5 -

Bei diesem Versuche war die positive Modification nicht so stark wie bei anderen; er zeichnet sich aber durch die grosse Deutlichkeit der negativen Modification aus.

Wie man demnach bemerkt, unterscheidet sich der abklingende Katelectrotonus vom abklingenden Anelectrotonus nur in dem einen sehr zarten Punkte, welcher gewiss leicht übersehen wird, wenn man nicht gute Messapparate und sichere Methoden zur Hand hat.

Abschnitt V.

Untersuchung der Veränderung der Erregbarkeit hinter dem absteigenden Strome.

Die Untersuchung des aufsteigenden Anelectrotonus bietet zwar nunmehr, nachdem uns die Methoden zur Hand liegen, ja der Natur der Sache nach mutatis mutandis dieselben bleiben wie beim absteigenden Anelectrotonus, keine grossen Schwierigkeiten. Die Resultate aber, zu welchen die Untersuchung auch hier wieder führt, sind von so eigenthümlicher, so wunderbarer Art, dass sie auf den ersten Blick schwer in Einklang mit mechanischen Vorstellungen zu bringen sind, weshalb ja bekanntlich auch Eckhard schon fast a priori dieselben widerlegen zu können meinte. Diese Resultate müssen deshalb mit aller erdenklichen Sorgfalt geprüft werden, sodass wir Nichts unversucht lassen wollen, was geeignet sein könnte, ihre Glaubwürdigkeit über jeden Zweifel zu erheben. Es ist mir nun, so glaube ich gewiss, die Erbringung eines durchaus strengen Beweises gelungen. Um aber auch dem Leser die Ueberzeugung hiervon zu verschaffen, werde ich bei diesem Abschnitte wiederum etwas länger als bei dem vorigen verweilen müssen, weil eben seine Resultate von so einschneidender theoretischer Wichtigkeit sind mit Bezug auf die Lehre von der eigentlichen Natur des sogenannten Nervenprincips.

Kapitel I.

Nachweisung des extrapolaren aufsteigenden Anelectrotonus.

Die Untersuchung der hinter dem absteigenden Strome auftretenden Erregbarkeitsänderungen hat mich zu dem ganz allgemeinen Gesetze geführt, dass ausnahmlos die Erregbarkeit verändert und zwar herabgesetzt ist.

Der Beweis wurde nach denselben Methoden wie beim absteigenden extrapolaren Anelectrotonus geführt. Zur Begründung des oben ausgesprochenen Gesetzes gebe ich zuerst eine Versuchsreihe, bei welcher der Reiz ein Kettenstrom ist, der in absteigender Richtung durch den Nerven geleitet wird. Der Grund, weshalb wir den Strom absteigend wählen, ist bereits oben discutirt worden (s. p. 278).

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	7,5 Mm.	2	0,0 Mm.
3	7,3 -	4	0,0 -
5	5,3 -	6	0,0 -
7	5,9 -	8	0,0 -
9	5,9 -	10	0,0 -
11	5,9 -	12	0,0 -
13	5,9 -	14	0,0 -
15	6,0 -	16	0,0 -
17	5,9 -	18	0,0 -
19	6,0 -	20	0,0 -
21	5,7 -	22	0,0 -
23	6,2 -	24	0,0 -
25	5,8 -	26	0,0 -
27	5,9 -	28	0,0 -
29	6,2 -	30	0,0 -

Digitized by Google

Der Abstand der Electrodenpaare betrug 7 Mm. Ablenkung der Multiplicatornadel bei halber Länge = 7½°. Die Länge des Musculus gastroknemius = 35 Mm.

Hierauf theile ich einen Versuch mit, bei welchem der Reiz ein absteigender Schliessungsinductionsschlag war.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	6,1 Mm.	2	0,0 Mm.
3	7,7 -	4	0,0 -
5	8,2 -	6	0,0 -
7	8,1 -	8	0,0 -
9	8,0 -	10	0,0 -
11	8,0 -	12	0,0 -
13	7,4 -	14	0,0 -
15	7,6 -	16	0,0 -
17	7,5 -	18	0,0 -
19	7,7 -	20	0,0 -
21	7,7 -	22	0,0 -
23	7,8 -	24	0,0 -
25	8,0 -	26	0,0 -
27	8,0 -	28	0,0 -
29	8,0 -	30	0,0 -
31	8,0 -	32	0,0 -
33	8,1 -	34	0,0 -
35	8,1 -	36	0,0 -
37	8,1 -	38	0,0 -
39	8,2 -	40	0,0 -
41	8,2 -	42	0,0 -
43	8,3 -	44	0,0 -

Der Abstand der Electrodenpaare war = 5 Mm. Die Ablenkung der Nadel bei halber Multiplicatorlänge war = 40°. Die Länge des Musculus gastroknemius = 35 Mm. — Sowohl

bei Versuch I wie bei Versuch II lag das Electrodenpaar des constanten Stromes dem Nervus ischiadicus dicht über dem Musculus gastroknemius an.

Die Controlversuche sind hier stets wie bei den vorigen Abschnitten angestellt worden und führten auch hier zum Beweise, dass die Erregbarkeitsänderung eine ächt physiologische Erscheinung ist.

Sehr schön ist der chemische Versuch, welcher den Beweis so evident giebt, dass es unmöglich ist, daran einen Zweifel zu haben. Man applicirt über dem constanten Strome auf eine grössere Länge des Nerven einen Tropfen concentrirter Kochsalzlösung. Alsbald beginnt ein heftiger Tetanus, der sofort verschwindet, wenn der absteigende Strom durch den Nerven geschlossen wird. Ich kenne keinen Einwand, der sich irgend wie gegen die Beweiskraft dieses Versuches beibringen liesse.

Auch bei der Untersuchung des aufsteigenden Anelectrotonus in Bezug auf den Einfluss der Richtung des reizenden Stromes im Nerven wird man zu denselben Resultaten geführt, welche ich bereits früher dargelegt habe (s. besonders p. 283). Es erweisen sich nämlich die Nervenstrecken hinter dem absteigenden Strome in ihrer Erregbarkeit herabgesetzt, welches auch der Winkel mit der Primitivfaser sein möge, unter welchem der Strom in die Nerven eintritt. Wir kommen mithin auch hier zu denselben Schlüssen, welche wir bereits oben (s. a. a. O.) gezogen haben.

Ich wende mich nunmehr sofort zur Untersuchung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden Anelectrotonus von seinen verschiedenen Variabeln.

Digitized by Google

Kapitel II.

Ueber den Einfluss des Abstandes einer gegebenen Nervenstrecke von den Electroden des constanten Stromes auf die Stärke des extrapolaren aufsteigenden Anelectrotonus.

Die Untersuchungsresultate führten mich auch hier zu der allgemeinen Thatsache, dass der aufsteigende Anelectrotonus in der Nähe der Electroden des constanten Stromes am stärksten entwickelt ist und von hier aus mit der Entfernung stetig abnimmt, um schliesslich unmerkbar zu werden. Hierin beruht nun offenbar keine Paradoxie, sondern darin, dass man mit Hülfe der Zuckung dieses Gesetz wirklich demonstriren kann, was in eigenthümlichen Beziehungen der Molekeln und in der Natur der Reizung als solcher seinen letzten, äusserst wichtigen Grund hat.

1. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der Mittelwerthe und des Reizes einer Kette.

Mit Bezug auf die Discussion der speciellen Methode verweise ich auf eine frühere Stelle, wo dieselbe begründet worden (s. p. 186 ff.). Die Stromstärke wurde mit Hülfe von Rheochord und Multiplicator wieder wie früher bei allen Versuchen auf derselben Grösse erhalten.

A. Versuche, bei denen der Abstand der Electrodenpaare = 5 Mm. gesetzt war.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	4,0 Mm.	2	0,0 Mm.
3	4,4 -	4	0,0 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
5	4,5 Mm.	6	0,0 Mm.
7	5,0 -	8	0,0 -
9	5,3 -	10	0,0 -
11	5,6 -	12	0,0 -
13	5,8 -	14	0,0 -
15	5,7 -	16	0,0 -
17	5,8 -	18	0,0 -
19	6,0 -	20	0,0 -
21	6,1 -	22	0,0 -
23	5,9 -	24	0,0 -
25	5,8 -	26	0,0 -
27	6,0 -	28	0,0 -
29	6,0 -	30	0,0 -
31	6,0 -	32	0,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 34 Mm. Wegen der Jahreszeit (Mitte December) sind die Zuckungen so klein.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	4,1 Mm.	2	0,0 Mm.
3	5,3 -	4	0,0 -
5	5,3 -	6	0,0 -
7	5,3 -	8	0,0 -
9	5,4 -	10	0,0 -
11	5,3 -	12	0,0 -
13	5,3 -	14	0,0 -
15	5,3 -	16	0,0 -
17	5,2 -	18	0,0 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
19	5,4 Mm.	20	0,0 Mm.
21	5,4 -	22	0,0 -
23	5,4 -	24	0,0 -
25	5,3 -	26	0,0 -
27	5,3 -	28	0,0 -
29	5,3 -	30	0,0 -
31	5,4 -	32	0,0 -
33	5,4 -	34	0,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 34 Mm.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	5,3 Mm.	2	0,0 Mm.
3	5,7 -	4	0,0 -
5	5,6 -	6	0,0 -
7	5,8 -	8	0,0 -
9	5,5 -	10	0,0 -
11	5,5 -	12	0,0 -
13	5,8 -	14	0,0 -
15	6,1 -	16	0,0 -
17	6,4 -	18	0,0 -
19	5,8 -	20	0,0 -
21	6,1 -	22	0,0 -
23	6,2 -	24	0,0 -
25	6,2 -	26	0,0 -
27	6,3 -	28	0,0 -
29	6,2 -	30	0,0 -
31	6,0 -	32	0,0 -
33	5,7 -	34	0,0 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
35	5,4 Mm.	36	0,0 Mm.
37	5,4 -	38	0,0 -
39	5,5 -	40	0,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 33 Mm.

B. Versuche, bei denen der Abstand der Electrodenpaare = 20 Mm. gesetzt war.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	3,6 Mm.	2	1,5 Mm.
3	5,1 -	4	1,7 -
5	5,3 -	6	0,9 -
7	5,4 -	8	0,9 -
9	4,6 -	10	1,7 -
11	4,5 -	12	1,0 -
13	4,6 -	14	0,0 -
15	4,8 -	16	1,5 -
17	5,0 -	18	2,6 -
19	4,6 -	20	1,0 -
21	4,6 -	22	1,7 -
23	4,6 -	24	0,0 -
25	4,7 -	26	1,0 -
27	4,2 -	28	1,7 -
29	4,2 -	30	1,6 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 35 Mm.

Digitized by Google

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	3,9 Mm.	2	0,0 Mm.
3	4,0 -	4	0,0 -
5	4,1 -	6	0,0 -
7	5,1 -	8	0,0 -
9	5,1 -	10	0,1 -
11	4,9 -	12	0,3 -
13	4,1 -	14	2,3 -
15	4,3 -	16	0,9 -
17	4,4 -	18	0,9 -
19	4,2 -	20	0,0 -
21	4,2 -	22	0,0 -
23	4,7 -	24	0,0 -
25	5,1 -	26	0,0 -
27	4,5 -	28	0,5 -
29	4,5 -	30	1,1 -
31	4,3 -	32	1,6 -
33	5,1 -	34	1,6 -
35	4,7 -	36	0,8 -
37	4,5 -	38	0,2 -
39	4,8 -	40	0,2 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 38 Mm.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	4,1 Mm.	2	2,9 Mm.
3	5,3 -	4	3,1 -
5	4,5 -	6	1,4 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
7	4,4 Mm.	8	1,4 Mm.
9	4,4 -	10	1,4 -
11	5,4 -	12	1,8 -
13	4,5 -	14	1,4 -
15	4,2 -	16	1,3 -
17	4,5 -	18	1,6 -
19	4,3 -	20	1,6 -
21	4,4 -	22	1,6 -
23	4,3 -	24	1,5 -
25	4,4 -	26	1,5 -
27	4,9 -	28	1,5 -
29	4,3 -	30	0,9 -
31	4,1 -	32	1,4 -
33	4,7 -	34	1,5 -
35	4,7 -	36	1,5 -
37	4,8 -	38	1,5 -
39	4,8 -	40	1,5 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 38 Mm. Es ist der zweite Schenkel desselben Frosches, an dem auch der vorige Versuch angestellt ist.

C. Versuche, bei denen der Abstand der Electrodenpaare = 35 Mm. gesetzt war.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	4,7 Mm.	2	4,1 Mm.
3	4,6 -	4	4,2 -
5	4,7 -	6	4,0 -
7	4,7 -	8	4,3 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
9	4,7 Mm.	10	4,3 Mm.
11	4,3 -	12	4,0 -
13	4,8 -	14	3,6 -
15	4,7 -	16	3,8 -
17	4,6 -	18	4,2 -
19	4,8 -	20	4,4 -
21	4,7 -	22	4,2 -
23	4,6 -	24	4,1 -
25	4,9 -	26	4,1 -
27	4,6 -	28	4,1 -
29	4,7 -	30	3,4 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 38 Mm.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	4,0 Mm.	2	3,8 Mm.
3	3,8 -	4	2,9 -
5	3,5 -	6	2,1 -
7	3,5 -	8	2,6 -
9	3,5 -	10	2,1 -
11	3,6 -	12	1,7 -
13	3,3 -	14	1,4 -
15	4,0 -	16	1,4 -
17	3,7 -	18	3,2 -
19	3,9 -	20	3,2 -
21	4,4 -	22	1,9 -
23	4,1 -	24	2,5 -
25	4,1 -	26	3,2 -
27	3,2 -	28	3,1 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
29	3,3 Mm.	30	1,3 Mm.
31	3,5 -	32	1,3 -
33	3,6 -	34	1,6 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 34 Mm.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	4,6 Mm.	2	2,5 Mm.
3	3,1 -	4	3,0 -
5	3,2 -	6	2,0 -
7	2,7 -	8	2,7 -
9	2,8 -	10	2,8 -
11	3,3 -	12	2,9 -
13	3,0 -	14	2,3 -
15	2,0 -	16	0,3 -
17	2,2 -	18	2,2 -
19	2,6 -	20	2,7 -
21	2,9 -	22	1,8 -
23	2,2 -	24	2,1 -
25	2,4 -	26	1,9 -
27	2,3 -	28	2,0 -
29	2,0 -	30	1,8 -
31	2,0 -	32	1,8 -
33	1,9 -	34	1,8 -

Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 34 Mm. Es ist der andere Schenkel desselben Frosches, an dem auch der vorige Versuch angestellt wurde.

Eine oberflächliche Betrachtung der neun Beobachtungsreihen zeigt das Gesetz ganz evident, dass der absolut genommene Zuckungszuwachs um so grösser ausfällt, je weniger

Digitized by Google

die gereizte Stelle von der positiven Electrode entfernt ist. Denn bei dem Abstande von 5 Mm. wird diejenige Reizung, welche fast das Zuckungsmaximum hervorbringt, sofort unwirksam, wenn der constante absteigende polarisirende Strom geschlossen ist. Wählt man aber den Abstand von 20 Mm., so verschwindet die mittelstarke Zuckung meist nicht mehr, wie vorher die starke. Gleichwohl wurde sie auch oft noch durch die Schliessung des Stromes aufgehoben, stets aber sehr bedeutend geschwächt. Wenn wir aber den Maximalabstand nahmen, so war der Regel nach nur noch eine geringe Wirkung im gesetzmässigen Sinne vorhanden und selten trat eine etwas deutlichere Verkleinerung der Zuckung durch den Anelectrotonus auf.

Ich gebe endlich noch in einer Tabelle die aus den übrigen angestellten Versuchsreihen berechneten Mittelwerthe des Zuckungszuwachses für die verschiedenen Entfernungen:

Mittlerer Zuckungszuwachs bei einem Abstand der Electrodenpaare = 5 Mm.	Mittlerer Zuckungszuwachs bei einem Abstand der Electrodenpaare = 20 Mm.	Mittlerer Zuckungszuwachs bei einem Abstand der Electrodenpaare = 35 Mm.
— 6,1 Mm.	— 4,3 Mm.	— 2,3 Mm.
— 5,9 -	— 3,4 -	— 1,1 -
— 5,8 -	— 3,2 -	— 1,1 -
— 5,7 -	— 3,1 -	— 1,0 -
— 5,6 -	— 2,8 -	— 0,8 -
— 5,4 -	— 2,5 -	— 0,6 -
— 5,3 -	— 2,1 -	— 0,5 -
— 5,1 -	— 1,1 -	— 0,2 -

2. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der Mittelwerthe und des Reizes eines Schliessungsinductionsschlages.

Die Richtung des Schliessungsschlages ist im Nerven die absteigende. Mutatis mutandis bleibt diese Methode in allen

Digitized by Google

Verhältnissen dieselbe, wie beim absteigenden Anelectrotonus (s. p. 176 ff.). Es wurde nun für zwei Distanzen nach dieser Methode der mittlere Zuckungszuwachs bestimmt. Der polarisirenden Stromstärke entsprach bei diesen Versuchen eine Ablenkung von 30° bei halber Multiplicatorlänge. Als Beispiele mögen wiederum je 3 Versuche für eine Distanz folgen.

A. Versuche, bei denen der Abstand der Electrodenpaare = 5 Mm. gesetzt ist.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	4,9 Mm.	2	0,0 Mm.
3	5,8 -	4	0,0 -
5	5,5 -	6	0,0 -
7	5,5 -	8	0,0 -
9	5,8 -	10	0,0 -
11	6,0 -	12	0,0 -
13	6,2 -	14	0,0 -
15	6,6 -	16	0,0 -
17	6,7 -	18	0,0 -
19	6,9 -	20	0,0 -
21	6,9 -	22	0,0 -
23	7,1 -	24	0,0 -
25	7,2 -	26	0,0 -
27	7,2 -	28	0,0 -
29	7,4 -	30	0,0 -
31	7,4 -	32	0,0 -
33	7,4 -	34	0,0 -
35	7,4 -	36	0,0 -
37	7,4 -	38	0,0 -
39	7,4 -	40	0,0 -
40	7,5 -	41	0,0 -
41	7,4 -	42	0,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 35 Mm.

Digitized by Google

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	5,9 Mm.	2	0,0 Mm.
3	6,1 -	4	1,1 -
5	6,4 -	6	0,0 -
7	6,3 -	8	0,0 -
9	6,2 -	10	0,0 -
11	6,4 -	12	0,0 -
13	6,4 -	14	0,0 -
15	6,5 -	16	0,0 -
17	6,5 -	18	0,0 -
19	6,5 -	20	0,0 -
21	6,5 -	22	0,0 -
23	6,5 -	24	0,0 -
25	6,6 -	26	0,0 -
27	6,7 -	28	0,0 -
29	6,7 -	30	0,0 -
31	6,6 -	32	0,0 -
33	6,6 -	34	0,0 -
35	6,7 -	36	0,0 -
37	6,7 -	38	0,0 -
39	6,8 -	40	0,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 34 Mm.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	6,0 Mm.	2	0,0 Mm.
3	6,0 -	4	0,0 -
5	6,0 -	6	0,0 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
7	6,2 Mm.	8	0,0 Mm.
9	6,3 -	10	0,0 -
11	6,4 -	12	0,0 -
13	6,6 -	14	0,0 -
15	6,5 -	16	0,0 -
17	6,6 -	18	0,0 -
19	6,7 -	20	0,0 -
21	7,0 -	22	0,0 -
23	6,9 -	24	0,0 -
25	7,2 -	26	0,0 -
27	7,2 -	28	0,0 -
29	7,3 -	30	0,0 -
31	7,4 -	32	0,0 -
33	7,4 -	34	0,0 -
35	7,7 -	36	0,0 -
37	7,7 -	38	0,0 -
39	7,4 -	40	0,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 35 Mm.

B. Versuche, bei denen der Abstand der Electrodenpaare = 25 Mm. gesetzt ist.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	3,6 Mm.	2	3,2 Mm.
3	4,9 -	4	4,9 -
5	4,1 -	6	2,4 -
7	3,1 -	8	2,8 -
9	3,8 -	10	2,2 -
11	3,5 -	12	2,2 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
13	3,1 Mm.	14	2,2 Mm.
15	3,1 -	16	1,8 -
17	3,0 -	18	1,8 -
19	2,7 -	20	1,8 -
21	2,6 -	22	0,3 -
23	2,6 -	24	0,4 -
25	1,8 -	26	1,0 -
27	2,7 -	28	1,8 -
29	2,7 -	30	0,4 -
31	1,8 -	32	0,5 -
33	1,0 -	34	0,5 -
35	1,0 -	36	0,5 -
37	1,7 -	38	0,5 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 36 Mm.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	3,8 Mm.	2	2,2 Mm.
3	3,4 -	4	2,6 -
5	3,5 -	6	1,4 -
7	5,5 -	8	2,4 -
9	4,9 -	10	2,2 -
11	5,5 -	12	3,0 -
13	6,1 -	14	3,9 -
15	4,1 -	16	2,8 -
17	4,5 -	18	3,0 -
19	5,4 -	20	3,0 -
21	5,6 -	22	3,9 -
23	3,8 -	24	1,5 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
25	4,2 Mm.	26	2,1 Mm.
27	4,1 -	28	2,4 -
29	4,9 -	30	3,9 -
31	4,9 -	32	3,8 -
33	4,4 -	34	1,9 -
35	4,5 -	36	1,9 -
37	5,1 -	38	3,5 -
39	2,5 -	40	2,6 -
41	2,5 -	42	2,5 -
43	2,5 -	44	2,5 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 35 Mm.

Versuch III.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	5,6 Mm.	2	3,8 Mm.
3	5,9 -	4	3,4 -
5	4,2 -	6	1,5 -
7	4,8 -	8	2,9 -
9	5,2 -	10	3,0 -
11	5,2 -	12	3,4 -
13	4,0 -	14	1,9 -
15	4,5 -	16	2,1 -
17	2,9 -	18	2,2 -
19	3,8 -	20	1,9 -
21	3,1 -	22	1,5 -
23	2,3 -	24	0,6 -
25	2,6 -	26	0,6 -
27	1,2 -	28	0,2 -
29	3,4 -	30	3,7 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 35 Mm.

Digitized by

Von den übrigen Versuchsreihen, welche wegen Mangel an Raum nicht mitgetheilt werden können, erlaube ich mir, hier noch die berechneten Mittelwerthe des Zuckungszuwachses für die verschiedenen Entfernungen in einer Tabelle zusammenzustellen:

Mittelwerth des Zuckungszuwachses bei einem Abstande der Electrodenpaare von 5 Mm.	Mittelwerth des Zuckungszuwachses bei einem Abstande der Electrodenpaare von 25 Mm.
— 8,1 Mm.	— 4,2 Mm.
— 7,8 -	— 3,5 -
— 7,7 -	— 2,9 -
— 7,7 -	— 1,5 -
— 7,5 -	— 1,3 -
— 7,0 -	— 1,1 -
— 6,9 -	— 0,9 -
— 6,7 -	— 0,7 -
— 6,5 -	— 0,3 -

Ich brauche wohl kaum hier nochmals hervorzuheben, dass sorgfältig stets darauf geachtet wurde, für diese Versuchsreihen Frösche von nahezu gleicher Grösse zu wählen, weil natürlich dadurch annähernd ein stets gleich dicker Nerv und ausserdem gleich grosse Zuckungen verbürgt werden können. Aus diesem Grunde ist bisher auch stets die Länge des Musculus gastroknemius angegeben worden, welcher bei stets gleicher Belastung gemessen wurde. Ferner habe ich aber natürlich bei diesen Versuchsreihen darauf gesehen, dass der Mittelwerth der Zuckung bei nicht polarisirten Nerven grösser war beim Abstande von 5 Mm. als bei dem von 25 Mm.

Aus allen diesen Zahlen erhellt unser Gesetz sofort auf das Evidenteste, dem zufolge der Zuckungszuwachs in rascher Abnahme begriffen ist, wenn der Reiz sich von den Electroden des constanten Stromes entfernt.

Die Controlversuche und Fehlerquellen bleiben dieselben wie beim absteigenden Anelectrotonus. Sie sind auch hier wie dort sorgfältig stets berücksichtigt worden (s. p. 299 ff.).

Digitized by Google

3. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der Verschiebung der Reizelectroden.

A. Anwendung des Kettenstromes in absteigender Richtung als reizenden Stromes.

Versuch I.

Abstand der Electrodenpaare = 5 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	11,2 Mm.	2	0,0 Mm.
3	11,2 -	4	0,0 -
5	10,1 -	6	0,0 -
7	10,9 -	8	0,0 -

Hierauf setze ich den Abstand = 15 Mm. und fahre fort:

9	5,6 Mm.	10	2,7 Mm.
11	5,6 -	12	2,7 -
13	5,8 -	14	2,8 -
15	5,4 -	16	2,8 -
17	5,6 -	18	3,2 -

Hierauf mache ich den Abstand = 30 Mm. Fortsetzung des Versuches:

19	3,1 Mm.	20	3,4 Mm.
21	3,4 -	22	3,0 -
23	3,5 -	24	3,1 -
25	3,5 -	26	3,1 -

Abermals wird der Abstand = 5 Mm. gesetzt:

27	10,1 Mm.	28	0,0 Mm.
29	10,5 -	30	0,0 -
31	10,8 -	32	0,0 -
33	11,2 -	34	0,0 -

Digitized by Google

Man kann wohl kaum sich einen Versuch wünschen, welcher auf einmal soviel lehrt wie dieser; denn bei einem Abstande von 5 Mm. wird die enorme Zuckung von über 11 Mm. durch den Strom unmöglich gemacht, sodass also hier der Zuckungszuwachs geradezu über 11 Mm. beträgt. Bei einem Abstande von 30 Mm. aber erscheint die bereits schwache Zuckung nur um eine ganz geringe Grösse (einige Zehntheile eines Millimeters) geschwächt. Trotz der gewaltigen Zuckung war bei diesem Versuche die Länge des Musculus gastroknemius nur = 34 Mm.

Versuch II.

Abstand = 5 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	8,5 Mm.	2	0,0 Mm.
3	8,5 -	4	0,0 -
5	8,9 -	6	0,0 -
7	8,1 -	8	0,0 -
	Abstand = 15 Mm.		
9	5,4 Mm.	10	3,9 Mm.
11	5,5 -	12	4,8 -
13	4,8 -	14	2,4 -
15	5,6 -	16	2,1 -
17	5,4 -	18	3,8 -
19	4,9 -	20	3,7 -
	Abstand = 30 Mm.		
21	3,0 Mm.	22	3,1 Mm.
23	2,9 -	24	2,9 -
25	3,2 -	26	3,2 -
27	3,2 -	28	3,2 -
29	3,2 -	30	3,2 -

Digitized by Google

Abstand wieder = 5 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
31	5,6 Mm.	32	0,0 Mm.
33	5,7 -	34	0,0 -
35	5,9 -	36	0,0 -
37	7,6 -	38	0,0 -
39	7,6 -	40	0,0 -
41	7,5 -	42	0,0 -
43	6,6 -	44	0,0 -

Die Bedingungen waren wie beim vorigen Versuche. — Die Länge des Musculus gastroknemius war = 36 Mm.

Versuch III.

Abstand gleich von Anfang = 35 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	4,0 Mm.	2	2,1 Mm.
3	3,4 -	4	3,2 -
5	2,8 -	6	2,8 -
7	2,8 -	8	2,8 -
Nunmehr wird der Abstand = 20 Mm. gesetzt:			
9	4,1 Mm.	10	0,4 Mm.
11	3,8 -	12	1,2 -
13	4,0 -	14	1,2 -
15	4,0 -	16	2,1 -
17	4,2 -	18	1,2 -
19	4,1 -	20	0,9 -
Endlich setze ich den Abstand = 5 Mm. und erhalte:			
21	4,9 Mm.	22	0,0 Mm.
23	6,8 -	24	0,0 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
25	8,6 Mm.	26	0,0 Mm.
27	8,6 -	28	0,0 -
29	8,8 -	30	0,0 -
31	7,0 -	32	0,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 35 Mm.

Obschon ich nun noch viele derartige Versuchsreihen besitze, so darf ich den Leser doch versichern, dass alle das Gesetz mit derselben Strenge wiederspiegeln, wie die mitgetheilten, obgleich bei diesen Versuchen alles zu Ungunsten des Experimentes eingeführt worden ist. Aber selbst die Summation einer Reihe äusserst ungünstiger Verhältnisse, welche das Gesetz zu verwischen streben, vermag dasselbe dennoch nicht im Geringsten in Schatten zu stellen.

Um Resultate wie die angegebenen zu erhalten, verfährt man am Besten folgendermassen. Wenn der Versuch an dem Nerv-Muskelpräparate mit dem Abstande von 5 Mm. begonnen wird, so wählt man nun zunächst diejenige Stärke des reizenden Stromes, welche nahezu das Zuckungsmaximum hervorbringt. Doch möge die Hubhöhe dieses nicht ganz erreichen. Hierauf lässt man den polarisirenden Strom mit Hülfe des Rheochords so lange anschwellen, bis er soeben diese dem Maximum nahe Zuckung total zu Null herabbringt. Der Sicherheit halber kann man den Strom noch um einen geringen aliquoten Theil vermehren. Man darf aber alsdann sicher sein, dass in einer Distanz von 40 Mm., welche bei grossen Fröschen herstellbar ist, die Reizung noch ganz ungeschwächt auftritt und auch so nach dem Muskel hinabgeht.

Wird der Versuch aber im Anfange gleich mit dem Abstande der Electrodenpaare begonnen, welcher gleich 35—40 Mm. ist, so nehme man den reizenden Strom so schwach, dass nur eine sehr kleine Zuckung durch ihn hervorgebracht wird und schwäche dann den constanten polarisirenden Strom

so lange, bis eben seine Wirkung unmerkbar zu werden anfängt. Auf diese Weise gelingt es unfehlbar, sehr leicht das Gesetz mit grosser Deutlichkeit darzuthun. Mutatis mutandis bitte ich den Leser, das Gesagte auf alle diejenigen Versuche zu übertragen, welche nach der Methode der Verschiebung der reizenden Electroden angestellt sind.

B. Versuche mit Anwendung des Schliessungsinductionsstroms in absteigender Richtung.

Versuch I.

Abstand = 25 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	5,1 Mm.	2	4,5 Mm.
3	5,1 -	4	4,6 -
5	5,1 -	6	4,6 -
7	5,1 -	8	4,6 -
9	5,1 -	10	4,6 -
11	5,1 -	12	4,7 -
13	5,1 -	14	4,7 -
15	4,6 -	16	3,6 -
17	4,6 -	18	3,7 -
19	4,1 -	20	3,5 -
21	3,7 -	22	2,0 -
Hierauf wird der Abstand = 5 Mm. gesetzt:			
23	6,7 -	24	0,0 -
25	6,6 -	26	0,0 -
27	6,6 -	28	0,0 -
29	6,5 -	30	0,0 -

Hierauf machte ich den Abstand wieder = 25 Mm. und fuhr fort:

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
31	3,2 Mm.	32	1,4 Mm.
33	4,3 -	34	1,5 -
35	5,2 -	36	3,5 -
37	5,4 -	38	3,2 -

Ich setze abermals den Abstand = 5 Mm. und erhalte:

39	5,1 Mm.	40	0,0 Mm.
41	6,2 -	42	0,0 -
43	6,5 -	44	0,0 -
45	6,4 -	46	0,0 -
47	6,6 -	48	0,0 -
49	6,6 -	50	0,0 -
51	6,8 -	52	0,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 37 Mm.

Versuch II.

Abstand = 5 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	5,7 Mm.	2	0,0 Mm.
3	5,8 -	4	0,0 -
5	6,5 -	6	0,0 -
7	6,3 -	8	0,0 -
9	6,4 -	10	0,0 -
11	7,8 -	12	0,0 -
13	8,0 -	14	0,0 -

Hierauf wird der Abstand = 15 Mm. gesetzt:

15	6,4 Mm.	16	4,4 Mm.
17	6,3 -	18	3,8 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
19	6,7 Mm.	20	4,3 Mm.
21	5,9 -	22	3,7 -
23	5,8 -	24	3,3 -
25	5,6 -	26	3,1 -

Hierauf mache ich den Abstand = 30 Mm. und setze den Versuch fort:

27	5,0 Mm.	28	5,0 Mm.
29	5,0 -	30	4,1 -
31	4,1 -	32	4,1 -
33	4,1 -	34	4,1 -
35	4,1 -	36	4,1 -
37	4,1 -	38	4,1 -

Endlich mache ich wiederum den Abstand = 5 Mm. und setze den Versuch fort:

39	7,0 Mm.	40	0,0 Mm.
41	7,8 -	42	0,0 -
43	7,8 -	44	0,0 -
45	8,0 -	46	0,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius beträgt 34 Mm. Dies ist ein sehr wichtiger Versuch, weil bei dem Abstand von 5 Mm. die Maximalzuckungen ausgelöscht werden durch den Strom, während bei dem Abstande von 30 Mm. die Reizung absolut ungeschwächt durch jene unerregbaren Stellen hindurchgeht. Ich vermag mit meinem Mikrometer bei der schwachen Vergrösserung noch $\frac{1}{25}$ Mm. sicher zu schätzen. Da aber die Länge der Striche, und auch die hier stets angegebenen Zahlen, das Doppelte der wirklichen betragen, so konnte ich also eine Veränderung der Hubhöhe von $\frac{1}{50}$ Mm. noch sicher messen. Bei dem grossen Abstande wurde die Zuckung demnach selbst um noch nicht $\frac{1}{50}$ Mm. geschwächt.

Digitized by Google

Versuch III.

Abstand = 30 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	2,2 Mm.	2	2,1 Mm.
3	1,7 -	4	1,7 -
5	1,6 -	6	1,5 -
7	1,5 -	8	1,5 -
9	1,6 -	10	1,6 -
Abstand hierauf = 15 Mm. gesetzt:			
11	3,5 Mm.	12	1,2 Mm.
13	3,5 -	14	2,1 -
15	3,6 -	16	2,2 -
17	3,7 -	18	2,8 -
19	3,5 -	20	2,0 -
21	3,6 -	22	3,1 -
23	2,6 -	24	0,5 -
25	2,5 -	26	0,5 -
27	3,0 -	28	0,5 -
Abstand endlich wieder = 5 Mm.:			
29	4,4 -	30	0,0 Mm.
31	4,4 -	32	0,0 -
33	5,0 -	34	0,0 -
35	5,0 -	36	0,0 -
37	5,0 -	38	0,0 -
39	5,1 -	40	0,0 -
41	5,1 -	42	0,0 -
43	5,2 -	44	0,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 36 Mm.

Die Controlversuche auf Stromschleifen und unipolare Wirkungen wurden sorgfältigst stets angestellt, wie dies wie-

Digitized by Google

derholt auseinandergesetzt ist. Alle übrigen gegen den Versuch noch möglichen Bedenken sind bereits bei dem absteigenden Anelectrotonus diskutirt. Es kann demnach keinen Zweifel leiden, dass in der That der absolut genommene Zukkungszuwachs bei ausreichender Entfernung des Reizes von dem constanten Strom verschwinde, so paradox es auch Vielen, wie mir selber, erschienen ist. Wir werden später auf die theoretische Erörterung dieses Punktes genauer zurückzugehen haben.

4. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Verschiebung der dem polarisirenden Strome angehörenden Electroden.

Ich habe bereits oben die Zulässigkeit dieser Methode, sowie die Bedenken, welche sich ihr entgegenstellen, bei der Behandlung des aufsteigenden Katelectrotonus (s. p. 221 und flgd.) ausführlich besprochen. Die Anwendung der Verschiebung der dem polarisirenden Strome angehörenden Electroden zur Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des Zuwachses von der Entfernung der intrapolaren Strecke unterliegt hier indessen keinem ernstlichen Bedenken, weil nämlich die höheren Theile des Nervus ischiadicus im Allgemeinen eine geringere specifische Empfänglichkeit für den electrotonischen Zustand zeigen, was durch Versuche, die man am obern und untern Theile des Nerven bei gleichem Abstande der Electrodenpaare anstellt, nachgewiesen werden kann. Man legt deshalb das Electrodenpaar des constanten Stromes einmal nahe dem Musculus gastroknemius an den Nervus ischiadicus und einmal an den plexus sacralis, während die Reizung immer dieselbe Stelle des plexus erregt. Am besten verfährt man so, dass man dem Nerven drei unpolarisirbare Electrodenpaare applicirt, von denen zwei für den constanten Strom bestimmt sind, welcher mit Hülfe einer Wippe bald der dem Reize nahen, bald der von ihm weiter entfernten Strecke zu-

Digitized by Google

geführt werden soll. Das Electrodenpaar grösseren Widerstandes muss als nahes Electrodenpaar gewählt und nach jedem Versuche bestimmt werden, ob auch gewiss der durch die nahe Strecke fliessende Strom der schwächere ist. Denn in diesem Falle kann man um so mehr die Vermehrung der Wirkung bei der Annäherung wirklich aus dieser ableiten, als auch noch wegen der Vermehrung des Querschnittes in der nahen Strecke nothwendig eine noch grössere Abnahme der Stromesdichte herbeigeführt wird. Freilich springt, wie natürlich, bei Vergleichung zweier tieferen Stellen des Ischiadicus von gleichem Querschnitt der Erfolg entschieden deutlicher, schärfer und charakteristischer hervor. Als Belege werden zwei Beispiele genügen:

Versuch I.

(Anwendung eines absteigenden Kettenstromes als Reiz. Das Electrodenpaar des constanten Stromes wurde verschoben.)

Abstand = 5 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	8,1 Mm.	2	0,0 Mm.
3	7,9 -	4	0,0 -
5	6,8 -	6	0,0 -
7	6,8 -	8	0,0 -
9	6,9 -	10	0,0 -
11	5,9 -	12	0,0 -
Hierauf Abstand = 25 Mm.			
13	5,3 -	14	4,2 -
15	5,3 -	16	4,3 -
17	5,3 -	18	4,3 -
19	5,3 -	20	4,4 -
21	5,5 -	22	4,8 -

Digitized by Google

Hierauf Abstand = 35 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
23	4,3 Mm.	24	3,8 Mm.
25	3,8 -	26	3,8 -
27	3,6 -	28	3,6 -
29	3,6 -	30	3,6 -
Endlich wieder Abstand = 5 Mm.			
31	5,7 -	32	0,0 -
33	5,4 -	34	0,0 -
35	5,4 -	36	0,0 -
37	5,3 -	38	0,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 34 Mm.

Versuch II.

(Anwendung des absteigenden Schliessungsinductionsschlages als Reiz. Zwei Electrodenpaare für den constanten Strom, sodass er mit Hülfe einer Wippe bald der nahen, bald der fernen zu polarisirenden Strecke zugeführt werden kann.)

A. Der constante Strom fliesst durch die nahe Strecke.
Abstand = 5 Mm.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	7,1 Mm.	2	4,2 Mm.
3	7,8 -	4	2,7 -
5	5,0 -	6	0,0 -
7	5,8 -	8	0,0 -
9	5,6 -	10	0,0 -
11	5,7 -	12	0,0 -
13	5,9 -	14	0,0 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
15	5,7 Mm.	16	1,2 Mm.
17	5,9 -	18	1,1 -
19	5,3 -	20	0,0 -

B. Ich lege die Wippe um, sodass der Strom nun durch die ferne Strecke gehen muss. Abstand = 20 Mm.

21	2,8 Mm.	22	2,8 Mm.
23	2,8 -	24	2,8 -
25	2,8 -	26	2,8 -
27	2,7 -	28	2,9 -
29	2,6 -	30	2,7 -
31	0,9 -	32	0,9 -

C. Sodann lasse ich abermals den polarisirenden Strom durch die nahe Strecke fliessen und erhalte:

33	4,1 Mm.	34	0,0 Mm.
35	4,2 -	36	0,0 -
37	3,9 -	38	0,0 -

Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 34 Mm. — Die constante Ablenkung der Multiplicatornadel war von der nahen Strecke die geringere.

Die Controlversuche auf Stromschleifen und unipolare Wirkungen wurden stets sorgfältigst nach jedem Versuche angestellt, wie dies oben dargelegt worden ist.

5. Nachweisung der Abhängigkeit der Stärke des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Entfernung der positiven Electrode mit Hülfe der Methode der chemischen Reizung.

Ich habe diese Methode ausführlich discutirt bei der analogen Frage des aufsteigenden Katelectrotonus (s. p. 227 und

Digitized by Google

flgd.). Dieselbe ist mutatis mutandis genau diejenige, welche auch beim absteigenden Anelectrotonus angewandt worden ist und führt zu absolut denselben Resultaten, weshalb alles dort Gesagte buchstäblich auf hierher zu übertragen ist.

Wir können demnach nunmehr unbedenklich das Gesetz aussprechen:

dass die Grösse des absolut genommenen Zuckungszuwachses um so bedeutender ist, je näher die gereizte anelectrotonisirte Stelle der positiven Electrode liegt.

Kapitel III.

Untersuchung der Abhängigkeit des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Stärke des constanten polarisirenden Stromes.

Es wird hier wiederum unsere Aufgabe sein, den polarisirenden Strom von Null aus stetig mit Hülfe des Rheochords anschwellen zu lassen, indem wir für jeden neuen Werth der Stromstärke uns natürlich ein frisches Präparat wählen. Ich verfuhr ganz in derselben Weise, welche ich oben beim aufsteigenden Katelectrotonus ausführlich dargelegt habe. (S. p. 236 u. flgd.) Das Resultat, zu welchem ich gelangte, lässt sich einfach dahin aussprechen,

dass die Stärke des Anelectrotonus mit wachsender Stromstärke stetig anschwillt, wobei sich derselbe über immer grössere Strecken des Nerven auszubreiten strebt.

Das Zeichen des Zuckungszuwachses ist bei allen Werthen negativ. Derselbe tritt bereits merkbar bei solchen Stromstärken hervor, welche von einerlei Ordnung mit dem Nervenstrome sind. Zur Nachweisung der stetigen Zunahme des negativen Zuwachses wähle man eine Reihe von Stromstärken a, b, c, d, etc. unter dem Maximalwerthe heraus und

Digitized by Google

vergleiche die Wirkungen von a mit b, b mit c, c mit d und so fort. Ich gebe als Beleg für die äusserste Empfänglichkeit des Nerven für schwache Ströme folgenden Versuch, bei welchem zum Nerven eine Nebenschliessung von 1 Cm., sage nur 1 Cm. Eisendraht von 0,3 Mm. Dicke angebracht war, während der Rheochord mit einem kleinen Grove'schen Elemente der oben beschriebenen Art in Verbindung stand.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	2,3 Mm.	2	0,0 Mm.
3	2,3 -	4	0,5 -
5	2,2 -	6	0,0 -
7	1,2 -	8	0,0 -
9	2,6 -	10	0,0 -
11	4,3 -	12	1,2 -
13	4,3 -	14	0,5 -
15	5,4 -	16	3,1 -
17	4,8 -	18	3,3 -
19	5,2 -	20	2,5 -
21	3,2 -	22	1,9 -
23	4,2 -	24	0,9 -
25	5,2 -	26	1,5 -
27	5,3 -	28	1,6 -
29	3,9 -	30	0,0 -
31	2,0 -	32	0,0 -

Der polarisirende Strom afficirt die Nadel bei doppelter Multiplicatorlänge nicht mehr bemerkbar und erzeugt keine Spur von Zuckung. — Die Länge des Musculus gastroknemius war = 37 Mm.

Die anderen Versuchsreihen zur Nachweisung des Anwachsens des aufsteigenden Anelectrotonus mit der Stromstärke führen zu genau denselben Ergebnissen wie diejenigen,

Digitized by Google

welche bei dem absteigenden Anelectrotonus mitgetheilt worden sind.

Diejenige Stromstärke, welche, wenn sie aufsteigend fliesst, der Umkehr des Zeichens des Zuckungszuwachses entspricht, der von der katelectrotonisirten Strecke ausgelöst wird, bedingt absteigend fliessend heftigen negativen Zuwachs auf der anelectrotonisirten Strecke.

Kapitel IV.

Untersuchung der Abhängigkeit des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Länge der intrapolaren Strecke.

Ich habe den Einfluss der Länge auf die Stärke des aufsteigenden Anelectrotonus nach denselben beiden Methoden erforscht, welche oben ausführlich dargestellt und begründet wurden. (S. 248 u. flgd.) Für die a. a. O. angegebenen Verhältnisse der Längen und alle Werthe der Stromstärken habe ich diese Variabele durchexperimentirt, um schliesslich zu dem einfachen Gesetze zu gelangen:

dass die Stärke des Anelectrotonus mit wachsender Länge in mächtiger Zunahme begriffen sei.

Es möge hier ein mit schwachem Strome angestellter Versuch als Beispiel genügen.

Versuch.

A. Kurze Strecke.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
1	2,0 Mm.	2	1,5 Mm.
3	2,0 -	4	1,5 -
5	1,1 -	6	0,4 -

Digitized by Google

B. Lange Strecke.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
7	3,5 Mm.	8	0,0 Mm.
9	4,2 -	10	0,0 -
11	4,5 -	12	0,0 -
	C. Kurze Strecke.		
13	2,5 -	14	1,8 -
15	2,5 -	16	2,0 -
17	2,1 -	18	1,8 -
	D. Lange Strecke.		
19	3,9 -	20	0,0 -
21	3,9 -	22	0,0 -
23	4,4 -	24	0,0 -
	E. Kurze Strecke.		
25	2,1 -	26	2,0 -
27	1,9 -	28	0,6 -
29	1,8 -	30	1,5 -
	F. Lange Strecke.		
31	2,9 -	32	0,0 -
33	2,6 -	34	0,0 -
35	2,5 -	36	0,0 -
	G. Kurze Strecke.		
37	1,8 -	38	0,9 -
39	1,4 -	40	1,0 -
41	0,4 -	42	0,8 -
	H. Lange Strecke.		
43	2,4 -	44	0,0 -
45	2,6 -	46	0,0 -

Digitized by Google

Die lange Strecke verhielt sich zur kurzen Strecke wie 1 Mm. : 15 Mm. — Die constante Ablenkung der Multiplicatornadel von der kurzen Strecke betrug bei halber Multiplicatorlänge 4,5°, von der langen Strecke 3°. — Die lange Strecke enthielt die kurze nicht. — Der Musculus gastroknemius hatte eine Länge von 34 Mm. — Als Reiz gebrauchte ich einen absteigenden Schliessungsinductionsschlag.

Kapitel V.

Untersuchung der Abhängigkeit des aufsteigenden extrapolaren Anelectrotonus von der Zeit.

Mit Bezug auf die hier anzuwendenden Methoden habe ich mich wiederum zu beziehen auf die oben bereits dargelegte Discussion derselben. (S. p. 264 u. flgd.) Was aber die hiermit erhaltenen Resultate betrifft, so stimmen dieselben durchaus mit denen überein, welche wir bereits für den absteigenden Anelectrotonus ermittelt haben.

Es wächst demgemäss der aufsteigende Anelectrotonus sehr langsam nach der Schliessung des polarisirenden Stromes an. Dieses Anwachsen wird um so schneller geschehen, je öfter bereits derselbe Strom geschlossen wurde, oder je stärker der Strom überhaupt ist. Darum wurde bei allen vorhergehenden Versuchen, welche mit andern vergleichbare Resultate liefern sollten, stets 25 Sekunden nach der Schliessung gewartet, ehe die Reizung vorgenommen worden ist. Man würde sonst sehr trügerische Resultate erhalten können. Während der Schliessung nimmt dann später der Anelectrotonus, nachdem seine Flutzeit vorbei ist, bei fortdauernder Schliessung in seiner Wirkung wieder langsam ab. Bei der Oeffnung der Kette aber tritt augenblicklich die reine positive Modification auf, welche sich durchaus ebenso verhält, wie es beim absteigenden Anelectrotonus genauer dargestellt worden ist. Da die Versuchsreihen durchaus dem-

Digitized by Google

selben Gesetze gehorchen, so erlässt mir wohl der Leser hier die Mittheilung derselben.

Nur ein Punkt bleibt noch zu erwähnen, welcher eine Ausnahme zu bilden scheint zwischen dem auf- und absteigenden Anelectrotonus. Wenn man nämlich starke Ströme längere Zeit geschlossen lässt und dann wieder die Modification untersucht, so wird man sie oft statt positiv nun scheinbar negativ finden, was beim absteigenden Anelectrotonus nicht vorkommt. Indessen ist dies Verhalten genau so, wie wir es auch bei Untersuchung des Abklingens des aufsteigenden Katelectrotonus fanden. In Wirklichkeit scheint mir dasselbe aber nicht im Widerspruch mit dem Satze, dass die auf der anelectrotonisirten Strecke zurückbleibenden Zustände durchaus identisch sind, mag der Anelectrotonus auf- oder absteigend gewesen sein. Denn jene scheinbare Ausnahme war aus andern Gründen gar nicht anders zu erwarten, sodass sie darum unser Gesetz auch nicht direct angreift. Man darf sogar behaupten, dass wir uns im höchsten Grade wundern müssten, wenn diese scheinbare Ausnahme nicht aufgetreten wäre. Der starke Strom zerstört offenbar die Leitungsfähigkeit der durchflossenen Strecke, sodass alsdann natürlich die Reizung durch diese nur sehr geschwächt oder gar nicht mehr hindurchgeht, wodurch der Schein entsteht, als sei die unmittelbar gereizte Strecke selbst unerregbar geworden. Etwas erholt sich nach einigen Minuten die intrapolare Strecke und dann geht die oberhalb ausgelöste Reizung auch wieder mit ziemlicher Stärke hindurch, sodass selbst noch eine schwache positive Modification auftreten kann. Je länger freilich der Strom eingewirkt hat und je stärker er war, um so weniger wird man dann die positive Modification noch beobachten können. Aus diesen Gründen scheint mir nun der Satz durchaus gerechtfertigt,

> dass sich die Gesetze des abklingenden aufsteigenden Anelectrotonus von denen des absteigenden in Nichts unterscheiden.

Digitized by Google

Abschnitt VI.

Untersuchung der Veränderung der Erregbarkeit in der aufsteigend durchflossenen Strecke.

Kapitel I.

Untersuchung der Veränderung der totalen Erregbarkeit in der aufsteigend durchflossenen Strecke als Function der Stromstärke.

Wenn die Untersuchung des extrapolaren Electrotonus mit grossen Schwierigkeiten und Mühen verknüpft gewesen, die der Leser nie so tief empfindet, wie der Experimentator selber, so tritt hier bei Erforschung des intrapolaren Electrotonus eine noch bei Weitem grössere Verwicklung auf. Die Ausdauer aber, welche das vorgesteckte grosse Ziel der Gewinnung neuer Grundlagen zur Molecularhypothese der Nervenmaterie in uns erzeugte zur Ueberwindung jener Hindernisse, hat uns auch hier angespornt, das Aeusserste zu erstreben. Gleichwohl kann ich nicht behaupten, dass ich in allen Punkten so weit vorgedrungen wäre, wie ich es wünschte, obschon es mir auch hier wenigstens mit Hülfe einer Methode gelungen ist, eine ungefähre Vorstellung zu gewinnen von dem intrapolaren Bindeglied, das den Anelectrotonus mit dem Katelectrotonus verknüpft.

Ich wende mich zunächst zu einer Aufgabe, welche bereits mehrmals von anderen Forschern (du Bois-Reymond, Eckhard, Matteucci) theils theoretisch diskutirt, theils experimentell behandelt worden ist. Es ist dies das Problem nach dem Einflusse der absoluten Ordinatenhöhen,

Digitized by Google

zwischen welchen eine und dieselbe electrische Dichtigkeitsschwankung vor sich geht.

Um aber sogleich mit Bewusstsein der Möglichkeiten, welche hier auftreten können, an die Frage zu gehen, erlaube ich mir zunächst auf folgenden Umstand aufmerksam zu machen.

Man wird bei der Berechnung des Erfolges der Reizung einer Nervenstrecke von gegebener Länge stets die Aufgabe zu lösen im Stande sein, wenn man, alles Uebrige als bekannt vorausgesetzt, weiss, wie der Zustand jedes Längendifferentials des Nerven beschaffen ist. Bei Reizung eines einzigen unendlich dünnen Querschnittes der Faser würde man demnach aus dem Erfolg ceteris paribus genau den Zustand des gegebenen Querschnittes kennen lernen können. Erregt man aber eine längere Strecke, so betheiligen sich die verschiedenen Elemente der gereizten Nervenlänge natürlich im Allgemeinen sämmtlich daran und zwar jedes nach Massgabe des ihm zukommenden Zustandes. Hier — und das ist ja der gewöhnliche Fall — wird man demnach aus dem beobachteten Erfolge durchaus nicht schliessen dürfen, dass ein beliebiger Querschnitt, welcher aus der gereizten Länge herausgegriffen wird, nun wirklich auch den Zustand darbiete, welchen die Erregung der gesammten anzudeuten scheint. Denn diese giebt uns ja nur eine Resultante aus den Wirkungen aller Theile. Gleichwohl ist die Kenntniss dieser Resultante bereits von hohem Werthe, sobald wir nur jene Betrachtung nicht aus dem Auge verlieren. Wenn wir also im Hinblick hierauf dennoch von der Erregbarkeit einer grösseren Nervenstrecke reden, so wollen wir diese bezeichnen als die totale Erregbarkeit derselben. Im Gegensatz hierzu werde ich aber die wirkliche absolute Erregbarkeit eines Elementes mit dem Ausdrucke der partiellen Erregbarkeit kenntlich machen.

Bei Untersuchung der totalen Erregbarkeit der intrapolaren Strecke also hat man sich nun zunächst nach einer Methode umzusehen, die der Frage wirklich gewachsen ist. Von den bis jetzt eingeschlagenen sind alle trügerisch oder

unbequem und haben deshalb auch den Gegenstand nicht zu ergründen vermocht.

Die von mir angewandte Methode war folgende (s. Fig. 17). Den Werth der absoluten Ordinatenhöhe, von welcher aus die reizende Stromesschwankung beginnen sollte, wollte ich im Nerven (NN) mit Hülfe des Rheochordes ($\rho_1 \rho_2 \rho_3 \rho_4$) herstellen. Dieser gestattet ja jede beliebige Grösse mit äusserster Feinheit einzuführen. Nichts war dann nothwendig, als im Experimentirkreise ($s_1 s_2 s_3$), der also den Nerven enthielt, plötzlich an einer Stelle eine electromotorische Kraft von gegebener Grösse und Dauer anzubringen, um ebenso augenblicklich eine Stromschwankung von gegebener Grösse, Dauer und Richtung zu haben. Was war einfacher, als nun in den Experimentirkreis noch eine secundäre Rolle (S) einzuschalten, die vom constanten Strome mit durchflossen war, dessen Stärke stets durch den Museumsmultiplicator (M) controlirt wurde. In der Nähe der secundären war dann noch eine primäre Inductionsspirale (P) aufgestellt, welche leicht erlaubte, die in dem secundären Kreise vorhandene electromotorische Kraft nach Belieben auf einige Augenblicke zu ändern. Zu dem Zwecke stand dieselbe mit ihren Enden durch die Drahtleitungen p_1, p_2, p_3 mit der Kette K_2 in Verbindung. Durch den electromagnetischen Fallapparat (f) konnte der primäre Kreis nun im Quecksilbernäpfchen (e) stets mit derselben Geschwindigkeit geschlossen werden. Mit einer gegebenen Inductionsschwankung reizte ich einmal den Nerven, während die nach dem Rheochord führende Leitung ($z_1 y_1$ und $y_2 z_2$) der Säule K_1 bei u_2 unterbrochen war. In diesem Falle war der Kreis des Inductionsstromes ja geschlossen durch den Rheochord. Sodann schloss ich den Säulenkreis bei u_2, womit sich der Strom auch durch die secundäre Spirale (S) ergoss, zu welchem sich dann natürlich jeder Inductionsstrom algebraisch addirte. Der Widerstand des Kreises, der den Nerven enthält, ist in beiden Fällen fast absolut gleich. Bei der Erregung des Inductionsstromes ohne constanten Strom ist er um eine sehr kleine Grösse bedeutender, weil nämlich die zu dem Rheochord an-

Digitized by Google

gebrachte Nebenschliessung, welche jetzt der Säulenkreis bildet, den Widerstand der zwischen ϱ_1 und ϱ_2 gelegenen Leitungen in etwas vermindert. Was will das aber sagen gegen den Widerstand der Inductionsrolle von fast 5000 Windungen feinen Drahtes und ganz besonders des Nerven und der zur Vermeidung der Polarisation eingeführten ungeheueren Widerstände. Um indessen selbst dem grössten Skeptiker Genüge zu leisten, habe ich in denjenigen Fällen, wo der bemerkte Umstand dem Experimente zu Gunsten war, folgende Anordnung getroffen. Durch Umlegung der Wippe (w) des Commutators C ohne Kreuz nämlich brachte ich statt der Säulenleitung zu der Rheochordleitung eine nebenschliessende Leitung von kurzem dicken Kupferdraht an, indem ich das Quecksilbernäpfchen α mit β verband, wodurch also nun die Verhältnisse zu Ungunsten des Experimentes eingeführt waren. Wenn die Verringerung der totalen Erregbarkeit durch den Strom demonstrirt werden sollte, wurde natürlich die Nebenschliessung nicht angebracht. Lag die Wippe w nach rechts, so hatte man zunächst den Säulenkreis zwischen den Näpfchen γ und δ unterbrochen, während statt der Säule nun das kurze Drahtstück $\alpha\beta$ von gewiss viel geringerem Widerstande als die sechselementige Säule in den Kreis aufgenommen war. Erregte ich also z. B. einen aufsteigenden Inductionsstrom, so war sein Weg folgender: Er ging aus der Rolle (S) nach Leitung s_3 durch den Multiplicator (M) nach Klemme ϱ_2 des Rheochords und spaltete sich hier in zwei Arme, welche in ϱ_1 sich wieder vereinigten. Der eine Arm geht über x_2, n, x_1 nach ϱ_1 zurück, der andere über y_2 durch π_2 nach α und β, und sodann über π_1 durch y_1 ebenfalls nach ϱ_1. — Lag aber die Wippe nach links, so bricht der Strom der Säule K_1 in den Nerven ein, wobei er folgende Wege nimmt. Von P_1 kommt er aus K_1, geht durch z_1 nach Näpfchen δ, von π_1 durch Leitung y_1 nach Klemme ϱ_1 und spaltet sich hier in zwei Arme, von denen der eine durch den Experimentirkreis geht und von uns benutzt wird, während der andere über x_1, n, x_2, ϱ_2, y_2, π_2, γ durch Leitung z_2 nach Z_1 zurückkehrt. Der zum Experi-

mentirkreise gehende Zweigstrom entspringt aus ρ_1, fliesst durch s_2 nach a zum Nerven, tritt bei b aus demselben aus nach Leitung s_1, um sodann die secundäre Spirale S zu durchströmen, über s_3 nach ρ_2 zu gehen und sich hier dem Hauptstrome beizugesellen. Der Leitungswiderstand ist für den Inductionsstrom im letztern Falle etwas bedeutender als wenn die Wippe nach rechts liegt. Wollte ich nun zeigen, dass die Zuckung während der Stromesdauer stärker war, so wurde diese Methode gewählt. Sollte aber bei höheren Stromstärken das Umgekehrte demonstrirt werden, also schwächere Zuckung während des Stromes, so blieb die Wippe (w) stets nach links liegen und es wurde einfach bei Reizung ohne den constanten Strom nur bei u_2 in z_2 unterbrochen, dadurch also die Nebenschliessung, welche die Säule (K_1) zur Leitung (x_1, n, x_2) bildete, entfernt, sodass der Inductionsschlag von ρ_2 über x_2, n, x_1 direct ganz nach ρ_1 ging. Bei dieser zweiten Methode ist der Inductionsstrom also stärker, wenn die schwächere Zuckung beobachtet werden soll. Da der Inductionsstrom endlich beim Durchsetzen der Säule diese stets in derselben Richtung durchfliesst, wie der von ihr selbst erzeugte Strom, so wird er auch keine Polarisation hervorrufen, und zwar um so weniger, als unsere Elemente im besten Zustande waren, den man zur Vermeidung der durch die Electrolyten erzeugten electromotorischen Kraft nur herstellen kann. Um schliesslich stets sicher zu sein, dass mein Inductionsstrom die gewünschte Richtung habe, näherte ich, nachdem der primäre Kreis geschlossen war, die secundäre der primären Spirale langsam, wodurch sich ein schwacher, der Nadel des Multiplicators nicht gefährlicher Inductionsstrom durch den Experimentirkreis ergoss, welcher dieselbe Richtung hatte, wie der durch Schliessung des primären Kreises erzeugte. Der Ausschlag musste nun ferner stets dieselbe Richtung haben, wie derjenige, welchen der Säulenstrom hervorrief. Der Oeffnungsschlag wurde nach der oft genannten Methode stets sowohl vom Nerven wie Multiplicator abgeblendet. So können wir denn zur Untersuchung schreiten, indem wir ganz so, wie es oben dargelegt ist, mit Hülfe von Rheochord und

Digitized by Google

Multiplicator die Erregbarkeitsveränderung als Function der Stromstärke erforschen.

Ich begann natürlich wieder mit sehr schwachen Strömen und wählte einen schwachen Schliessungsinductionsschlag als Reiz, der bei nicht polarisirten Nerven nur eine spurweise Zuckung hervorbrachte. Ich schloss dann den constanten Strom, reizte wieder und — es war eine mächtige Zukkung vorhanden. Dann reizte ich wieder ohne und darauf mit Strom, um zu demselben Ergebnisse ausnahmslos zu gelangen. Ich wüsste nunmehr keinen Einwand gegen diesen Erfolg und stehe deshalb nicht an, sofort das Gesetz auszusprechen, dass die totale Erregbarkeit der intrapolaren Strecke erhöht ist, wenn die Stromesschwankung zwischen absolut höheren Ordinatenwerthen vor sich geht. Lässt man aber den Strom mit Hülfe des Rheochordes immer weiter anschwellen, so ereignet sich nun noch einmal das merkwürdige Faktum, dass die Function ein Maximum erreicht, um dann abzunehmen, bis sie wieder zur Abscisse herabgekommen ist. Es wächst, mit andern Worten, die totale Erregbarkeit nur bis zu einem gewissen Punkte, und nimmt dann wieder bis zu ihrem ursprünglichen Werthe ab. Bei weiterem Wachsen der Stärke des constanten polarisirenden Stromes schneidet die Function dann die Abscisse und wächst mit umgekehrtem Zeichen fortwährend weiter. Die Function verläuft also genau so, wie der Zuwachs oberhalb des aufsteigenden Stromes. Am Museumsmultiplicator erzeugte der Strom, welcher dem Schneidepunkte der Funktion mit der Abscisse entsprach, eine constante Ablenkung von 30—40°.

Legt man die Electroden des constanten Stromes recht dicht an den Querschnitt, so stellt sich zuweilen dieser Werth noch viel kleiner heraus, sowie er auch durch die modificirende Kraft des Stromes herabgesetzt wird.

Als Beleg mögen nun einige Versuche folgen, wo an jedem der ganze Lauf der Function dargestellt ist, indem ich durch Verlängerung der Nebenschliessung am grossen Neusilberrheochord, der mit 6 Grove'schen Elementen in Verbindung gesetzt ist, die Stromstärke stetig anschwellen lasse.

Digitized by Google

Ich werde demgemäss bei dem Versuche hier stets die eingeschalteten Längen angeben.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung.
1	1,1 Mm.	2	1,1 Mm.	Minimum.
3	0,4 -	4	1,4 -	-
5	0,7 -	6	1,9 -	-
7	0,5 -	8	2,1 -	-
9	0,5 -	10	3,9 -	1 Cm.
11	0,8 -	12	3,9 -	1 -
13	0,3 -	14	4,0 -	10 -
15	1,5 -	16	4,2 -	10 -
17	0,4 -	18	4,2 -	20 -
19	0,5 -	20	4,2 -	20 -
21	0,0 -	22	4,5 -	30 -
23	0,8 -	24	4,7 -	40 -
25	0,3 -	26	5,0 -	50 -
27	0,3 -	28	4,6 -	75 -
29	0,6 -	30	0,2 -	100 -
31	5,0 -	32	0,1 -	100 -
33	4,8 -	34	0,0 -	150 -
35	4,8 -	36	0,0 -	200 -
37	4,7 -	38	0,0 -	250 -
39	4,8 -	40	0,0 -	340 -
41	4,8 -	42	0,0 -	510 -
43	4,8 -	44	0,0 -	680 -
45	4,8 -	46	0,0 -	850 -
47	4,8 -	48	0,0 -	1020 -

(Der Strom hat jetzt das Maximum seiner Grösse, welche 6 Elemente bei dem vorhandenen Widerstande hervorzubringen vermögen.)

49	4,8 Mm.	50	0,0 Mm.	1360 Cm.

Digitized by Google

Um nun zu sehen, dass dieser Verlauf nicht in der mittlerweile stattgehabten Veränderung des Präparates, sondern in der Variation der Stromstärke wirklich seinen Grund gehabt habe, machte ich schliesslich noch einmal die nebenschliessende Drahtlänge = 10 Cm. und erhielt:

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.
51	0,2 Mm.	52	4,5 Mm.
53	1,4 -	54	4,4 -
55	2,5 -	56	4,4 -

Die andern Nebenbedingungen des Versuchs waren: die Länge des Musculus gastroknemius betrug 35 Mm. — Die Länge der intrapolaren Strecke war = 4 Mm. und befand sich unmittelbar unter dem Abgange der Oberschenkeläste. — Die constante Ablenkung der Multiplicatornadel durch den Strom, welcher dem Schneidepunkte der Function mit der Abscisse entsprach, betrug 34°.

Versuch II.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung.
1	1,4 Mm.	2	2,3 Mm.	Minimum.
3	0,3 -	4	3,1 -	-
5	1,1 -	6	1,8 -	-
7	0,8 -	8	4,6 -	5 Cm.
9	0,4 -	10	4,1 -	5 -
11	1,4 -	12	4,2 -	10 -
13	1,5 -	14	5,4 -	20 -
15	1,7 -	16	5,3 -	30 -
17	1,1 -	18	4,6 -	40 -

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung.
19	0,5 Mm.	20	4,5 Mm.	50 Cm.
21	1,4 -	22	4,5 -	75 -
23	1,5 -	24	1,5 -	90 -
25	2,1 -	26	3,3 -	90 -
27	1,2 -	28	1,1 -	110 -
29	1,4 -	30	1,4 -	130 -
31	2,9 -	32	1,8 -	150 -
33	2,8 -	34	0,0 -	170 -
35	4,1 -	36	0,0 -	200 -
37	3,8 -	38	0,0 -	340 -
39	4,2 -	40	0,0 -	420 -
41	3,8 -	42	0,0 -	510 -
43	3,9 -	44	0,0 -	580 -
45	3,4 -	46	0,0 -	680 -
47	3,5 -	48	0,0 -	1020 -
49	3,1 -	50	0,0 -	1360 -
51	2,0 -	52	3,8 -	10 -
53	2,7 -	54	4,2 -	10 -
55	1,4 -	56	4,4 -	10 -

Die speciellen Bedingungen des Versuches waren: Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 35 Mm. — Die Ablenkung der Multiplicatornadel bei halber Länge durch die Stromstärke, welche dem Schneidepunkt der Funktion mit der Abscisse entspricht, war = 41°. Doch muss man bemerken, dass der Nerv mit dem plexus sacralis auflag, so dass also die Stromdichte im plexus vielleicht doch dieselbe war. — Die Länge der intrapolaren Strecke mass 4 Mm. und stand um 8 Mm. von dem Querschnitte ab. — Dieser und der vorhergehende Versuch sind an ein und demselben Tage angestellt.

Digitized by Google

Kapitel II.

Einfluss der Länge der intrapolaren polarisirten Strecke auf die Grösse der totalen Erregbarkeit derselben.

Die Erforschung des Einflusses der Länge wurde von mir so angestellt, dass ich nach einer der Methode der Mittelwerthe ähnlichen die im ersten Kapitel angestellten Versuche für verschiedene Längen wiederholte.

Das Endergebniss bestand in dem merkwürdigen Resultate, dass der Lauf der Funktion, welche den Zuwachs an totaler Erregbarkeit in seiner Abhängigkeit von der Stromstärke darstellt, genau derselbe blieb, welches auch die polarisirte Länge sein mochte. Ja sogar die Stromstärken, welche dem Schneidepunkt der Function mit der Abscisse entsprachen, brachten constante Ablenkungen für die verschiedenen Längen hervor, welche so wenig verschieden waren, dass es mir fast zweifellos ist, es werde für alle Längen der Werth derselbe sein. Die Ablenkungen blieben nämlich zwischen 30° und 40°, wobei man nun gewiss in Anschlag zu bringen hat, wie oft der Querschnitt der Nerven doch mehr oder weniger variirt selbst bei Fröschen, die gleich lange Gastroknemien haben, so dass ein ganz uumittelbarer Schluss von dem Einen auf das Andere dann nicht gestattet ist, wo es wirklich einmal auf absolute Strenge ankommt.

Die hier eingeschlagene Methode das aufgestellte Problem zu lösen ist viel einfacher und wohl auch zuverlässiger, als wenn wir an ein und demselben Nerven zwei verschiedene intrapolare Längen mit einander hätten vergleichen wollen. Es würde nämlich natürlich mit wachsender Länge auch die Reizung selbst variiren, weshalb diese erst zu ihrer früheren Werthhöhe compensirt werden müsste, ehe der Einfluss der Polarisation der Länge geprüft werden könnte.

Als Beleg des angeführten Gesetzes mögen nun folgende Versuche genügen:

Digitized by Google

Versuch I.

(Die Länge der polarisirten Strecke beträgt 10 Mm.)

Drahtlänge = 0. Das mögliche Minimum von Nebenschliessung am Neusilberrheochord ist aber wegen des sehr gewaltigen Stromes noch etwas zu gross.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung.
1	0,6 Mm.	2	4,9 Mm.	Minimum.
3	0,8 -	4	5,0 -	-
5.	1,3 -	6	8,5 -	2 Cm.
7	2,1 -	8	9,1 -	4 -
9	0,9 -	10	9,0 -	6 -
11	0,0 -	12	9,3 -	8 -
13	0,1 -	14	8,5 -	10 -
15	0,5 -	16	8,6 -	14 -
17	0,0 -	18	8,5 -	20 -
19	0,2 -	20	8,6 -	30 -
21	0,1 -	22	8,7 -	40 -
23	1,4 -	24	8,0 -	50 -
25	2,6 -	26	0,2 -	60 -
27	2,6 -	28	0,2 -	60 -
29	3,5 -	30	0,4 -	75 -
31	2,8 -	32	7,0 -	40 -
33	0,2 -	34	8,6 -	30 -
35	2,2 -	36	0,0 -	60 -
37	2,4 -	38	0,0 -	80 -
39	6,0 -	40	0,0 -	100 -
41	7,2 -	42	0,0 -	120 -
43	8,0 -	44	0,0 -	140 -
45	8,5 -	46	0,0 -	160 -
47	8,4 -	48	0,0 -	180 -
49	8,5 -	50	0,0 -	200 -
51	8,0 -	52	0,0 -	250 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung.
53	5,2 Mm.	54	0,0 Mm.	340 Cm.
55	3,9 -	56	0,0 -	425 -
57	5,4 -	58	0,0 -	510 -
59	5,7 -	60	0,0 -	595 -
61	6,6 -	62	0,0 -	680 -
63	6,4 -	64	0,0 -	850 -
65	5,2 -	66	0,0 -	1020 -
67	2,4 -	68	5,9 -	10 -
69	0,1 -	70	3,2 -	10 -

Die Specialbedingungen dieses Versuches waren folgende. Wem es auffällt, dass die Umkehr des Zeichens hier bereits bei 60 Cm. Nebenschliessung eintrat, während dies früher erst bei grösseren Längen stattfand, dem bemerke ich, dass die 6 elementige Säule bei diesem Versuche mit ganz concentrirter Säure gefüllt war und deshalb einen äusserst heftigen Strom erzeugte. Beim Messen der Ablenkung der Multiplicatornadel durch den Strom, dem die Umkehr des Zeichens der Funktion entspricht, erhielt ich denn auch genau denselben Werth, wie bei einem der vorigen Versuche, nämlich 34°. — Die Electroden lagen an dem unteren Theile des Nervus ischiadicus. — Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 36 Mm.

Versuch II.

(Polarisirte Länge = 20 Mm.)

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung.
1	1,4 Mm.	2	2,2 Mm.	Minimum.
3	1,8 -	4	1,9 -	-
5	1,0 -	6	4,7 -	2 Cm.
7	1,2 -	8	5,5 -	4 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung.
9	0,2 Mm.	10	4,9 Mm.	10 Cm.
11	2,2 -	12	4,5 -	20 -
13	2,2 -	14	4,2 -	30 -
15	1,2 -	16	1,8 -	40 -
17	3,0 -	18	0,0 -	40 -
19	3,9 -	20	0,0 -	40 -
21	1,9 -	22	0,0 -	40 -
23	1,0 -	24	0,0 -	50 -
25	3,7 -	26	1,6 -	75 -
27	3,5 -	28	1,2 -	90 -
29	3,5 -	30	0,0 -	150 -
31	3,8 -	32	0,0 -	200 -
33	3,5 -	34	0,0 -	340 -
35	4,5 -	36	0,0 -	510 -
37	4,6 -	38	0,0 -	680 -
39	3,0 -	40	0,0 -	1020 -
41	1,1 -	42	0,0 -	20 -
43	0,5 -	44	3,2 -	10 -
45	0,7 -	46	3,4 -	10 -

Die Specialbedingungen dieses Versuches waren: Die obere Hälfte des Nervus ischiadicus ist in den Kreis als Versuchsstrecke eingeschaltet. Die Länge des Musculus gastroknemius war = 34 Mm. — Am grossen Neusilberrheochord waren 6 Grove'sche Elemente im besten Zustande mit unvermischter concentrirter braunrother rauchender Salpetersäure. Die constante Ablenkung der Nadel bei halber Multiplicatorlänge durch die Stromstärke, welcher anfänglich (s. die achtzehnte und zweiundvierzigste Zuckung) die Umkehr des Zeichens der Funktion entsprach, betrug wieder fast genau so viel wie vorher, nämlich 32°. Bemerkenswerth ist hier besonders die durch Modification herbeigeführte Herabdrückung des Werthes, bei welchem die Function ihr Zeichen umkehrt. (Anfänglich bei 40 Cm., später bei ca. 15 Cm. Nebenschliessung.)

Digitized by Google

Versuch III.

(Polarisirte Länge = 40 Mm.)

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung.
1	1,0 Mm.	2	5,5 Mm.	1 Cm.
3	0,2 -	4	5,8 -	1 -
5	0,5 -	6	6,2 -	4 -
7	1,0 -	8	6,8 -	6 -
9	0,1 -	10	7,5 -	8 -
11	0,1 -	12	7,8 -	10 -
13	1,0 -	14	7,9 -	14 -
15	0,1 -	16	7,9 -	20 -
17	1,0 -	18	7,5 -	20 -
19	1,5 -	20	7,5 -	30 -
21	1,5 -	22	7,5 -	40 -
23	0,3 -	24	7,9 -	50 -
25	0,6 -	26	7,2 -	75 -
27	2,3 -	28	6,7 -	96 -
29	2,3 -	30	6,1 -	110 -
31	2,4 -	32	5,8 -	110 -
33	0,2 -	34	0,8 -	120 -
35	1,5 -	36	0,1 -	140 -
37	4,0 -	38	0,0 -	160 -
39	4,2 -	40	0,0 -	180 -
41	3,8 -	42	0,0 -	200 -
43	3,5 -	44	0,0 -	340 -
45	3,6 -	46	0,0 -	510 -
47	4,2 -	48	0,0 -	680 -
49	3,7 -	50	0,0 -	1020 -
51	0,2 -	52	8,4 -	20 -
53	0,1 -	54	8,7 -	20 -

Ueber die Specialbedingungen sind folgende Bemerkungen zu machen: Die Länge des Musculus gastroknemius be-

trug 32 Mm. — Erst bei der Länge der Nebenschliessung von 140 Cm. fand die Umkehr des Zeichens der Funktion statt, was seinen Grund in der grossen Nervenlänge hat, welche jetzt eingeschaltet war und darum grössere electromotorische Kräfte beanspruchte, damit dieselbe Stromstärke den Experimentirkreis durchfloss. Merkwürdig ist nun gewiss, dass die Ablenkung der Multiplicatornadel durch den angegebenen Strom wieder nahezu dieselbe wie vorher war, nämlich 35° betrug, wonach man also kaum wird zweifeln können, dass die Stromstärke, bei welcher die Funktion ihr Zeichen umkehrt, in der That unabhängig ist von der Länge der polarisirten Nervenstrecke. Wie sollten sonst die Ergebnisse für so sehr verschiedene Längen so genau übereinstimmen können, zumal wenn man die ungünstigen Umstände noch in Betracht zieht, welche sich hier der absoluten Strenge hemmend in den Weg stellen?

Kapitel III.

Nachweisung der Veränderung der totalen Erregbarkeit der intrapolaren Strecke als Function der Stromstärke mit Hülfe der chemischen Reizung.

Die Methode, deren ich mich hier bedient habe, war folgende. Auf die kleine dreieckige Glasplatte des kleinen allgemeinen Trägers brachte ich einen Tropfen concentrirter Kochsalzlösung und schob dieselbe dann sanft unter den Nerven, so dass dieser in einer Strecke von 12 Mm., zwischen den beiden Electroden bespült wurde, welche 20 Mm. von einander abstanden. Vor der Application der Lösung prüfe man, ob der Nerv bei der gewählten Länge alle Stromstärken erträgt. Ist dies nicht der Fall, so muss man die Empfindlichkeit desselben erst abstumpfen, indem man einen stärkeren Strom einige Zeit ihn durchfliessen lässt. Sobald nun nach Application der Lösung der Tetanus anfängt, entfernt man diese vom Nerven, damit sie nicht eine Neben-

Digitized by Google

schliessung für den Strom bilde. Mit feinem Fliesspapier saugt man darauf die capillare Schicht von Kochsalzlösung, welche noch auf der Oberfläche des Nerven zurückgeblieben ist, auf und lässt dann den Strom von Null aus anschwellen. Der constante Erfolg besteht darin, dass Ströme von der äussersten Schwäche, die sonst keinen Tetanus hervorbringen, den vorhandenen vermehren, ja solchen erzeugen, wenn keiner vorhanden war. Mit wachsender Stromstärke wächst auch der Tetanus. Ueberschreitet diese aber eine gewisse Grösse, so nimmt er wieder ab, und verschwindet endlich ganz, obgleich er augenblicklich in grösster Stärke vorhanden sein kann, wenn der starke Strom nun unterbrochen wird. Das Resultat ist ganz allgemein gültig und durchaus constant, so verschieden auch die Längen der intrapolaren Strecke sein mögen, welche ich alle durchexperimentirt habe.

Kapitel IV.

Nachweisung der Veränderung der partiellen Erregbarkeit der intrapolaren Strecke als Function der Stromstärke.

Ich schicke diesem Kapitel einstweilen den Satz voraus, dass die Untersuchung der Veränderung der totalen Erregbarkeit in der absteigend durchflossenen intrapolaren Strecke mich zu genau denselben Gesetzen geführt hat, wie bei der aufsteigend durchflossenen. Der Beweis dieses Satzes wird einen Theil des Gegenstandes des nächstfolgenden Abschnittes bilden.

Nachdem ich selbst in der Erforschung der Verhältnisse so weit vorgedrungen war, als es nunmehr dem Leser bekannt ist, erschien es bereits ziemlich klar, wie die Curve der veränderten Erregbarkeit wohl zwischen den Electroden verlaufen möchte. Ich denke mir die Zunahme der Erregbarkeit als positive, die Abnahme als negative Ordinaten aufgetragen auf die zur Abscisse genommene Axe des Nervus ischiadicus. Die Betrachtung, welche mich bei dem noch unbekannten

Verlaufe des intrapolaren Theils der Curve leitete, ging von folgenden Grundgedanken aus. Es ist unmöglich und übersteigt an Unwahrscheinlichkeit alles Denkbare, dass es eine gewisse Stromstärke geben soll, welche die Erregbarkeit und zwar die partielle der intrapolaren Strecken gar nicht verändert, während jede andere Stromstärke die Erregbarkeit erhöht, welche kleiner als die bezeichnete ist, jede sie herabsetzt, welche grösser als diese ausfällt. Denn ausserhalb der Electroden wachsen die durch den Electrotonus bedingten Erregbarkeitsveränderungen mit wachsendem Strome stetig an. Diese secundären Veränderungen der Erregbarkeit müssen aber doch ihren Grund in den primären Aenderungen haben, welche in der intrapolaren Strecke vorhanden sind. Da nun in den extrapolaren Strecken bei jeder Stromstärke die Erregbarkeit verändert ist, in der intrapolaren aber nicht, so ist es klar, dass die Erfolge bei Reizung der totalen Strecke nicht massgebend sein können, wo es sich um Beurtheilung der partiellen Erregbarkeit handelt. Alle Paradoxie hört sofort auf, wenn wir annehmen, dass jene Stromstärke, welche scheinbar wirkungslos ist, die intrapolare Strecke in zwei Hälften spaltet, in deren einer die Erregbarkeit erhöht, in deren anderer sie herabgesetzt ist, so dass die Reizung der totalen polarisirten Länge keinen anderen Erfolg zeigt, als die Reizung der totalen nicht polarisirten, weil nämlich die Reizung in der einen Nervenhälfte denselben Zuwachs erlangt, den ihm die andere wieder entzieht. Wir kommen also zu dem sehr wahrscheinlichen Schlusse, dass die Curve der veränderten Erregbarkeit die Abscisse zwischen den Electroden schneide. Wir vermögen dies indessen noch weiter zu begründen. Wie kommt es nämlich ferner, dass bei schwachen Strömen der Zuwachs der totalen Erregbarkeit der intrapolaren Strecke positiv ist, bei starken negativ? Wenn der Schneidepunkt der Curve der natürlichen Erregbarkeit mit der Abscisse, der uns ganz ausserordentlich interessirt, zwischen den Electroden liegt, so muss, das ist klar, bei schwachen Strömen der intrapolare Katelectrotonus dem Reize einen absolut grösseren Zuwachs ertheilen, als der Anelectrotonus, während es bei starken

Digitized by Google

Strömen umgekehrt ist. Eine weitere Betrachtung giebt auch hier einige Gesichtspunkte an. Sieht man nämlich den Ausdruck der totalen Erregbarkeit, mit welchem wir uns bis jetzt beschäftigt haben, als identisch an mit der partiellen, so müsste bei schwachen Strömen der Schneidepunkt der Curve dicht am positiven Pole liegen. Bei starken Strömen aber hätte man ihn unzweifelhaft dicht am negativen Pole zu suchen. Bei der Stätigkeit aller Dinge in der Natur kann das nun nicht anders stattfinden, als dass der Schneidepunkt, den ich von jetzt ab den „Indifferenzpunkt" nennen will, mit wachsender Stromstärke vom positiven zum negativen Pole, also in der Richtung des Stromes wandert. Nur eine höchst gekünstelte Annahme über das allgemeine Gesetz unserer Curven könnte ein schwaches Bedenken an unserer Vermuthung aufstellen. Soweit gelang es mir, den Verlauf der Curve fast a priori zu erkennen, noch ehe ich einen Versuch zur weiteren experimentellen Begründung der so wahrscheinlichen Betrachtung unternommen hatte.

Die Schwierigkeiten nun, welche sich bei Erforschung der Erregbarkeit in einem gegebenen Punkte der intrapolaren Strecke, also bei Untersuchung der sogenannten partiellen Erregbarkeit mit Hülfe des electrischen Reizes entgegenstellen, sind ganz ausserordentlich gross. Ich ging zunächst an einige Vorversuche. Nachdem ich nämlich das Electrodenpaar des constanten Stromes mit einer Spannweite von 30 Mm. dem Nerven angelegt hatte, verband ich beide Electroden mit einander, so dass sie einen dem Nerven angelegten gleichartigen Bogen darstellten, in dem nirgends eine electromotorische Kraft vorhanden war. Darauf legte ich dem Nerven noch eine Electrode zwischen jenen beiden Electroden des constanten Stromes an und verband dieselbe mit dem einen Pole der secundären Inductionsrolle des Schlittenmagnetelectromotors. Ich brachte darauf eine Drahtspitze unmittelbar sanft mit dem Nerven in Contact an derjenigen Stelle, wo auch die Electrode anlag, welche mit dem Inductionsapparate in Verbindung stand. Jener Drahtspitze aber gab ich nach dem Erdboden eine grosse Ableitung, von der ich voraussetzen

Digitized by Google

konnte, dass sie innerhalb der kurzen Zeiten, wo sie gebraucht werden sollte, nicht merkbar variiren würde. Wie man also sieht, wollte ich den unipolaren Inductionsschlag zur Reizung benutzen und denselben quer durch den Nerven führen. Zur Erregung des Oeffnungsschlages diente der electromagnetische Fallapparat, welcher stets mit derselben Geschwindigkeit die Contacte im primären Kreise entfernte. Ich erhielt so allerdings Zuckungen; wenn ich aber dann zwischen der unipolar reizenden Electrode und der des constanten Stromes, welche nach dem Muskel zu gelegen war, den Nerven unterband und dann wieder reizte, waren die durch unipolare Wirkung vorher erregten Zuckungen nicht verschwunden, was erst dann eintrat, wenn ich den gleichartigen Bogen unterbrach. Ein Theil des Inductionsstromes floss also stets durch den gesammten Nerven und nicht nur durch die Stelle, welche ich allein zu erregen wünschte. Es musste mithin diese Methode als unbrauchbar aufgegeben werden.

Ich wandte mich hierauf zu der Quererregung nach Galvani's Methode, mit Hülfe eines feuchten Fadens, welcher senkrecht zur Längsaxe des Nerven zwischen den beiden Füssen des gleichartigen Bogens dem Nerven angelegt wurde. Zur Erregung desselben sollte hier nur der Schliessungsinductionsschlag benutzt werden, der ja nach meiner Entdeckung der unipolaren Wirkung entbehrt. Der hier auftretende Uebelstand bestand nun darin, dass bei absolut senkrechter Lage des Nerven über dem Faden der Schenkel durchaus ruhig blieb, selbst als ich die secundäre Rolle fast ganz über die primäre geschoben hatte. Verstärkte ich aber den Strom noch mehr, oder legte ich den Faden nur ein wenig schief, so erschienen allerdings Zuckungen, verschwanden aber auch nicht, als ich dann den Probeversuch wie vorher mit der Durchschneidung oder Unterbindung anstellte. Somit ist auch diese Methode als unbrauchbar aufzugeben, womit freilich die Möglichkeit der Erforschung der partiellen Erregbarkeit mit Hülfe der electrischen Reizung sehr in die Ferne entrückt ist.

Es sind hier offenbar ganz ähnliche Schwierigkeiten, welche

Digitized by Google

ja auch du Bois-Reymond verhindert haben, den Electrotonus zwischen den Electroden der Wissenschaft zugänglich zu machen. Gerade aber deshalb dürfen wir nun, die wir von ganz anderer Seite her dasselbe Gebiet angreifen, Nichts unversucht lassen, welches uns einen directen Einblick in die intrapolaren Veränderungen geben kann. Bis zu einem gewissen Grade haben wir bereits mit hoher Wahrscheinlichkeit auf dem Wege der Speculation den eigentlichen Sachverhalt erschlossen und glücklicherweise ist es mir endlich mit Hülfe der Methode der chemischen Reizung gelungen, unsere Vermuthung wirklich strenge zu erweisen.

Der Gedanke, welcher mich bei der chemischen Reizung in diese Frage leitete, ging von obiger Betrachtung aus und war demgemäss folgender. Ich wollte eine sehr lange Nervenstrecke polarisiren, welche ich mir in Gedanken in vier gleiche Theile zerlegte, die ich in der Richtung des Stromes zählte. Da nun mit wachsender Stromstärke der Indifferenzpunkt vom positiven zum negativen Pole wandert, so hoffte ich für diejenigen, bei welchen der Indifferenzpunkt ein gegebenes Viertel eben passirt, um so höhere Werthe zu erhalten, je näher die Reizung dem negativen Pole wäre. Der Messung der Stromstärken substituirte ich die Messung der eingeschalteten nebenschliessenden Längen des grossen Neusilberrheochords, der mit einer Säule in Verbindung gesetzt wurde, deren Strom immer genau dieselbe Stärke hatte. Um dies zu erreichen, bediente ich mich folgenden Kunstgriffs, da ich keinen Rheostaten besass, um die Stromstärke im Hauptkreise genau zu reguliren. Es wurden also zunächst die beiden Pole der Säule mit den beiden Enden des grossen Rheochords verbunden. Einer dieser von dem Säulenpol nach dem Rheochord führenden Drähte hatte eine Unterbrechungsstelle, in welche ein zweiter Eisensaitenrheochord eingeschaltet werden konnte. Der Eisensaitenrheochord war aber selbst wieder mit einer Säule aus zwei Elementen in Verbindung unter Vermittlung eines Pohl'schen Stromwenders. In den Hauptstromkreis des ersten Rheochords (desjenigen von Neusilber) war nun der Museumsmultiplicator mit halber Länge

Digitized by Google

und kurzer metallischer Nebenschliessung noch eingeschaltet, so dass ich aus seiner Ablenkung genau unterrichtet war, eine wie grosse Electricitätsmenge sich durch die grosse Säule ergoss. Mit Hülfe des zweiten Eisensaitenrheochords konnte ich nun natürlich die electromotorische Kraft des Kreises nach Belieben genau abändern und zwar vermehren oder schwächen. So war also dafür gesorgt, dass bei allen an verschiedenen Tagen hintereinander angestellten Versuchen die electromotorische Kraft des Experimentirkreises immer wieder genau denselben Werth hatte, wenn dieselben Längen des grossen Neusilberrheochords eingeschaltet waren.

Die Resultate, welche ich nach dieser Methode erhielt, erschienen durchaus befriedigend, nicht allein, weil sie mit unserer Vorhersagung in so absoluter Uebereinstimmung waren, sondern weil sich die Unterschiede der Stromstärken, bei welchen der Indifferenzpunkt die verschiedenen intrapolaren Viertel passirt, so ausserordentlich bedeutend herausstellten. Mit Hülfe der chemischen Reizung erregte ich nun in einer Strecke von 4—8 Mm. die verschiedenen Viertel, während die totale intrapolare Länge möglichst gross genommen wurde, nämlich 35 Mm. Brachte ich die Aetzung im Bereiche des ersten Viertels an, so erschien absolut niemals Tetanus, wenn keiner ohne den Strom vorhanden war, mochte die angewandte Stromstärke sein, welche sie wollte. War aber bereits ohne den Strom spontan etwas Tetanus nach der Aetzung erschienen, so verminderten auch die allerschwächsten Ströme, welche überhaupt nur noch eine Spur von Wirkung zeigten, diesen ganz entschieden um eine geringe Grösse. Diese Verringerung zeigte sich aber um so mächtiger, je höher die angewandte Stromstärke war. Brachte ich hingegen die Aetzung im zweiten Viertel an, so verringerten gewöhnlich auch noch alle Stromstärken den vorhandenen Tetanus, obwohl zuweilen schon bei äusserst geringen Werthen derselben eine Steigerung stattfand. Eine sehr kleine Vermehrung der Stromstärke löschte aber auch hier sofort den Tetanus aus, und so blieb es, welches auch die Stromstärke war, die ich durch den Nerven gehen liess. Als ich aber dann die Aetzung im dritten

Digitized by Google

Viertel anbrachte, erschien die erhöhte Erregbarkeit ganz evident; denn bei schwächsten Strömen hob sich bereits der vorhandene Tetanus, wuchs mit wachsender Stromstärke und erst bei beträchtlichen Werthen nahm diese Steigerung der Erregbarkeit ab, um sodann in wirkliche Verminderung überzugehen. Der Indifferenzpunkt hatte das dritte Viertel passirt. Wenn ich nun endlich gar im vierten Viertel die Reizung anbrachte, so erregte der Strom den heftigsten Tetanus und erst als ich bis zu äusserst hohen Werthen stieg, die weit über den Werthen des dritten Viertels lagen, trat auch hier die Verminderung der Erregbarkeit auf. Der Indifferenzpunkt hatte nun also auch das vierte Viertel passirt. Das Gesetz lässt sich also folgendermassen aussprechen:

> Bei Reizung der intrapolaren Strecke ist der Zuwachs der Reizung, als Function der Stromstärke berechnet, anfangs positiv und wird mit weiterem Wachsen der Abscisse negativ. Der Werth der Abscisse aber, bei welcher die Function ihr Zeichen ändert, ist um so grösser, je weiter die gereizte Stelle vom positiven Pole entfernt liegt.

Ich erlaube mir nun für die verschiedenen Viertel die Werthe der nebenschliessenden Rheochordlängen anzugeben, bei welchen die Function ihr Zeichen in den Versuchen umkehrte, wenn 6 Elemente am grossen Neusilberrheochord angebracht waren.

Tabelle.

Die intrapolare Länge war = 35 Mm.

Erstes Viertel.	Zweites Viertel.	Drittes Viertel.	Viertes Viertel.
0 Cm.	54 Cm.	240 Cm.	712 Cm.
0 -	35 -	160 -	563 -
0 -	5 -	100 -	520 -
0 -	0 -		480 -
0 -	0 -		340 -
0 -			

Digitized by Google

Wir haben dieses merkwürdige Gesetz so gedeutet, dass der Indifferenzpunkt eine Verschiebung erleide. Doch ist es noch gestattet sich vorzustellen, dass bei constanter Lage des Indifferenzpunktes die anelectrotonisirten Strecken mit wachsender Stromstärke in höherem Maasse die Leitungsfähigkeit der Reizung verlieren, als durch Erhöhung der Erregbarkeit in dem Bereiche des intrapolaren Katelectrotonus compensirt werden kann. Wir pflichten dieser Erklärung aber darum nicht bei, weil die Thatsachen bei Untersuchung der vom absteigenden Strome durchflossenen Strecken absolut dieselben sind, wie die bei aufsteigendem Strome, gleichwohl aber letztere Erklärung nicht, wohl aber die erstere mit Nothwendigkeit forderen.

Kapitel V.

Ueber die Abhängigkeit der totalen Erregbarkeit der intrapolaren Strecke von der Zeit.

Ich habe hier nur die totale Erregbarkeit der intrapolaren Strecke untersucht.

Da Katelectrotonus und Anelectrotonus im Spiele sind, so lässt sich zum Theil schon a priori erwarten, welches die Resultate sein werden, zu denen wir gelangen müssen. Es lässt sich voraussehen, dass, da die Strecken, auf welchen nur katelectrotonischer Zustand herrscht, schon so schwer die negative Modification zeigen, diese jetzt noch weniger leicht zur Erscheinung kommen werde. Ich habe dieselbe demgemäss auch nur zuweilen und nicht regelmässig bei schneller Reizung nach Unterbrechung des schwachen modificirenden Stromes beobachten können. Doch schloss sich auch hier der negativen Modification bald die positive an. Wählt man aber mittelstarke und starke Ströme, so ist augenblicklich nach der Oeffnung eine mächtige positive Modification vorhanden, welche zur Erscheinung tritt, in welcher Richtung man auch den reizenden Strom durch die intra-

Digitized by Google

polare Strecke fliessen lässt. Die Dauer dieser positiven Modification ist ungemein bedeutend und erstreckt sich über viele Minuten. So ist das Verhalten, wenn der Strom kürzere Zeit den Nerven durchflossen hat. Lässt man denselben aber längere Zeit geschlossen, welche um so kürzer sein kann, je stärker derselbe ist, so wird man nach der Oeffnung die Modification entschieden negativ finden. Langsam nur verschwindet diese, um im Anfange noch bei ausreichend kräftigem Nerven einer positiven Modification Platz zu machen. Es lässt sich nicht mit Bestimmtheit erweisen, ob diese von uns so genannte negative Modification lediglich eine Folge der Zerstörung der Nerven durch Electrolyse ist, oder ob der Electrotonus vielleicht in der intrapolaren Strecke bei so starken Strömen die Oeffnung derselben merkbar überdauert. Die theilweise Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes macht einigermassen wahrscheinlich, dass auch letzterer Umstand bei diesem Phänomene mitspiele.

Ich habe leider darauf Verzicht leisten müssen, den Einfluss der Modification auf die Erregbarkeit der intrapolaren Strecke nach allen Richtungen zu verfolgen, da dies, wie ich bereits früher hervorhob, eine Arbeit von ganz ausserordentlicher Ausdehnung ist. Denn sie begreift ausser den nach der Oeffnung am frischen Nerven nachweisbaren sowohl totalen wie partiellen Veränderungen der Erregbarkeit, welche für Schwankungen von beliebig gerichteten Strömen einerlei Zeichen haben, zunächst den merkwürdigen Einfluss der Modification auf das Gesetz der Zuckung, welches wiederum sowohl für die ganze, wie für einzelne Theile der intrapolaren Strecke zu erforschen bleibt. Ausser dieser grossen Aufgabe, bei welcher noch mannigfache Umstände Berücksichtigung verdienen, gehört hierher das Studium des Oeffnungstetanus, dessen Ursachen nach Ritter in den Bewegungserscheinungen zu suchen sind, welche auf der intrapolaren Strecke nach der Oeffnung des Stromes Platz greifen.

Digitized by Google

Abschnitt VII.

Untersuchung der Veränderung der Erregbarkeit in der absteigend durchflossenen Strecke.

Kapitel I.

Untersuchung der Veränderung der totalen Erregbarkeit als Function der Stromstärke.

Ich habe im ersten Kapitel des vorigen Abschnittes sowohl die allgemeinen Gesichtspunkte angedeutet, welche uns bei Behandlung dieses Gegenstandes leiten müssen, wie auch die Methoden dargelegt, mit Hülfe deren wir die hier in Betracht kommenden Fragen zu lösen gedenken.

Das Resultat, zu welchem wir gekommen sind, stimmt durchaus überein mit demjenigen, welches wir bei Untersuchung der totalen Erregbarkeit in der aufsteigend durchflossenen Strecke erhalten haben.

Der als Function der Stromstärke betrachtete Erregbarkeitszuwachs ist demgemäss anfangs positiv, erreicht ein Maximum und geht mit weiter wachsender Stromstärke wieder nach Null zurück, um nach eingetretenem Zeichenwechsel wieder fortwährend zu wachsen. Der Werth der Stromstärke, bei welcher die Function ihr Zeichen umkehrt, ist wenig oder gar nicht von demjenigen verschieden, welchen wir bei Untersuchung der aufsteigend durchflossenen Strecke erhalten haben.

Digitized by Google

Ich gebe zur Begründung dieser Gesetze nun einige Versuche, bei welchen alle Verhältnisse denjenigen identisch sind, welche bei Behandlung der analogen Frage im vorigen Abschnitte in Anwendung gekommen sind. Der einzige Unterschied ist natürlich, dass der constante, wie der Inductionsstrom die absteigende Richtung im Nerven haben.

Ich theile zunächst einen Versuch mit, bei welchem zwar der grosse Neusilberrheochord angewandt ist, aber nur zwei Elemente mit demselben in Verbindung gesetzt waren. Auf diese Weise sieht man besonders schön das langsame Anwachsen und Wiederabnehmen der Function mit Einschluss der Zeichenumkehr. Wiederum stehen in der fünften Columne stets die eingeschaltet gewesenen Längen der Rheochordnebenschliessung.

Versuch I.

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung.
1	1,5 Mm.	2	1,5 Mm.	Minimum.
3	1,5 -	4	2,8 -	-
5	2,1 -	6	4,1 -	-
7	0,1 -	8	1,5 -	-
9	1,6 -	10	5,7 -	4 Cm.
11	1,6 -	12	5,7 -	4 -
13	1,5 -	14	6,0 -	6 -
15	1,6 -	16	6,1 -	6 -
17	1,5 -	18	6,2 -	8 -
19	0,0 -	20	6,5 -	8 -
21	1,5 -	22	6,7 -	10 -
23	0,1 -	24	7,0 -	10 -
25	1,5 -	26	7,2 -	14 -
27	0,0 -	28	7,4 -	14 -
29	0,0 -	30	7,4 -	20 -
31	0,0 -	32	7,5 -	20 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung.
33	0,5 Mm.	34	7,6 Mm.	30 Cm.
35	0,5 -	36	7,7 -	30 -
37	0,0 -	38	8,0 -	40 -
39	0,0 -	40	8,0 -	40 -
41	0,0 -	42	8,0 -	50 -
43	0,4 -	44	8,2 -	50 -
45	0,2 -	46	8,3 -	70 -
47	1,4 -	48	8,3 -	70 -
49	0,5 -	50	8,3 -	90 -
51	0,9 -	52	8,3 -	90 -
53	0,4 -	54	8,3 -	110 -
55	0,5 -	56	8,5 -	110 -
57	0,5 -	58	8,8 -	150 - (!)
59	0,5 -	60	8,7 -	150 -
61	1,5 -	62	7,4 -	200 -
63	4,0 -	64	7,5 -	200 -
65	4,3 -	66	6,1 -	250 -
67	3,6 -	68	6,0 -	250 -
69	1,2 -	70	5,2 -	300 -
71	1,5 -	72	3,6 -	300 -
73	1,1 -	74	2,3 -	300 -
75	1,8 -	76	1,8 -	300 - (!)
77	3,0 -	78	2,5 -	300 - (!)
79	4,3 -	80	3,2 -	350 -
81	4,8 -	82	2,0 -	350 -
83	4,2 -	84	1,1 -	350 -
85	4,3 -	86	0,0 -	350 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 34 Mm. — Die Electroden lagen dem plexus sacralis an. Ihr Abstand vom Querschnitte betrug 8 Mm. An diesem sehr instructiven Versuche bemerkt man das Wachsen der Function, bis die Länge des nebenschliessenden Drahtes 150 Cm. er-

Digitized by Google

reicht hat. Hierher fällt das Maximum des Zuwachses, welcher von jetzt ab wieder abnimmt, bis die Länge des nebenschliessenden Neusilberdrahtes = 300 Cm. geworden ist. Doch ist bereits der Strom so stark, dass er selber durch Modification den Zuwachs bedeutend zu verkleinern strebt, weshalb man bei der ersten Schliessung positiven, bei der letzten negativen Zuwachs wahrnahm. Die constante Ablenkung der Multiplicatornadel bei halber Länge betrug 41° durch den Strom, dem die Umkehr des Zeichens des Zuwachses entspricht. Hätten wir den Strom nun noch weiter wachsen lassen, so würde der Zuwachs stets negativ geblieben sein, was wir bei den folgenden Versuchen demonstriren wollen, wo der grosse Neusilberrheochord, der mit 6 Grove-schen Elementen in Verbindung steht, mit allen Saiten nach und nach eingeschaltet wird.

Derartige Versuche wie den mitgetheilten habe ich in grosser Menge angestellt, für geringe Längen der intrapolaren Strecken und alle möglichen Abstände derselben vom Muskel. Das Resultat blieb stets dasselbe, sowie auch dadurch der Schneidepunkt der Function mit der Abscisse nur wenig oder vielleicht gar nicht beeinflusst zu werden schien.

Kapitel II.

Untersuchung der Abhängigkeit der Erregbarkeitänderungen von der Länge der intrapolaren Strecke.

Wie wir im vorhergehenden Kapitel den Zuckungszuwachs als Function der Stärke des polarisirenden Stromes für kleine intrapolare Längen erforscht haben, so bleibt uns hier dieselbe Aufgabe für alle möglichen Längen zu lösen. Das Verfahren ist dasselbe wie vorher und führt zu denselben Resultaten, sodass auch hier bei jedweder Länge die Erscheinungen genau so auftreten, wie es im vorigen Kapitel dargestellt worden ist. Zur Begründung theile ich nun folgende Versuche mit.

Digitized by Google

Versuch I.

(Länge der intrapolaren Strecke = 10 Mm.)

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Länge der Rheochord - Nebenschliessung.
1	4,1 Mm.	2	5,4 Mm.	Minimum.
3	3,9 -	4	5,7 -	-
5	3,9 -	6	5,7 -	-
7	3,3 -	8	5,2 -	2 Cm.
9	3,3 -	10	5,7 -	2 -
11	3,3 -	12	5,9 -	4 -
13	0,9 -	14	5,9 -	4 -
15	0,7 -	16	6,2 -	6 -
17	3,4 -	18	6,2 -	6 -
19	0,8 -	20	6,5 -	8 -
21	3,4 -	22	6,6 -	8 -
23	2,6 -	24	6,7 -	10 -
25	3,4 -	26	6,8 -	10 -
27	1,8 -	28	6,8 -	14 -
29	3,8 -	30	7,3 -	14 -
31	0,2 -	32	6,6 -	20 -
33	2,5 -	34	7,5 -	30 -
35	3,7 -	36	7,0 -	40 -
37	4,0 -	38	7,0 -	50 -
39	2,7 -	40	7,5 -	100 -
41	3,5 -	42	7,0 -	100 -
43	2,3 -	44	7,0 -	150 -
45	1,3 -	46	6,6 -	150 -
47	1,5 -	48	5,9 -	200 -
49	1,0 -	50	2,7 -	200 -
51	0,7 -	52	0,4 -	250 - (!)
53	5,8 -	54	0,9 -	250 -
55	5,4 -	56	0,3 -	250 -
57	5,4 -	58	0,0 -	300 -
59	0,1 -	60	3,7 -	4 -

Digitized by Google

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 33 Mm. — Die Electroden lagen an dem mittleren Theile des Nervus ischiadicus. Es waren nur zwei Elemente am Neusilberrheochord. Die constante Ablenkung bei 250 Cm. Nebenschliessung betrug 35° bei halber Länge des Museumsmultiplicators.

Versuch II.

(Länge der intrapolaren Strecke = 20 Mm.)

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung.
1	2,0 Mm.	2	4,7 Mm.	Minimum.
3	0,9 -	4	4,4 -	-
5	2,0 -	6	4,5 -	-
7	2,2 -	8	5,5 -	1 Cm.
9	1,7 -	10	5,4 -	1 -
11	2,0 -	12	5,4 -	2 -
13	2,2 -	14	5,9 -	2 -
15	1,0 -	16	6,7 -	5 -
17	1,2 -	18	6,9 -	5 -
19	0,3 -	20	6,9 -	10 -
21	2,4 -	22	6,9 -	10 -
23	0,4 -	24	6,9 -	15 -
25	0,1 -	26	6,9 -	20 -
27	0,5 -	28	6,5 -	25 -
29	0,5 -	30	6,5 -	30 -
31	0,5 -	32	6,5 -	30 -
33	0,7 -	34	6,2 -	40 -
35	0,5 -	36	5,4 -	50 -
37	2,5 -	38	2,7 -	70 -
39	2,1 -	40	2,0 -	70 - (!)
41	3,0 -	42	0,5 -	70 -
43	3,7 -	44	0,4 -	100 -
45	4,7 -	46	0,0 -	100 -
47	5,0 -	48	0,0 -	150 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung.
49	5,5 Mm.	50	0,0 Mm.	200 Cm.
51	6,1 -	52	0,0 -	250 -
53	5,4 -	54	0,0 -	300 -
55	5,4 -	56	0,0 -	350 -
57	5,4 -	58	0,0 -	425 -
59	5,6 -	60	0,0 -	500 -
61	5,4 -	62	0,0 -	580 -
63	5,2 -	64	0,0 -	680 -
65	5,4 -	66	0,0 -	840 -
67	5,4 -	68	0,0 -	1020 -
69	3,0 -	70	0,5 -	10 - (!)
71	3,1 -	72	0,3 -	10 -
73	1,1 -	74	4,9 -	5 - (!)
75	1,0 -	76	4,9 -	5 -
77	0,6 -	78	4,5 -	5 -

Die Länge des Musculus gastroknemius betrug 29 Mm. — Die Ablenkung am Museumsmultiplicator bei halber Länge und der Länge der Rheochord-Nebenschliessung von 70 Cm. war = 38°. — Mit dem grossen Neusilberrheochord war eine Säule von 6 Elementen in Verbindung gesetzt. — Interessant ist bei diesem Versuche die durch die Modifikation herbeigeführte bedeutende Herabsetzung des Werthes der Stromstärke, bei welcher die Function ihr Zeichen umkehrt; denn während vorher diese Umkehr am wenig modificirten Nerven **erst bei 70 Cm. Nebenschliessung geschah, ereignet sie sich jetzt bei ca. 7 Cm. Aus dieser Thatsache geht mithin sehr deutlich hervor, dass eine absolute Bestimmung des Werthes der Stromstärke, bei welcher der Zeichenwechsel stattfindet, jetzt ganz ungemein schwierig, wenn nicht unmöglich, sein dürfte. — Auch für diese Länge wurden viele Versuche angestellt bei verschiedenen Entfernungen der intrapolaren Strecke vom Muskel, ohne dass das allgemeine Gesetz aufgehört hätte, mit gleicher Deutlichkeit wie bisher erscheinen.**

Digitized by Google

Versuch III.

(Länge der intrapolaren Strecke = 45 Mm.)

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung.
1	0,3 Mm.	2	3,2 Mm.	Minimum.
3	0,5 -	4	2,6 -	-
5	0,0 -	6	6,4 -	1 Cm.
7	0,0 -	8	6,7 -	1 -
9	0,1 -	10	6,8 -	2 -
11	3,1 -	12	6,9 -	2 -
13	0,0 -	14	6,8 -	4 -
15	0,0 -	16	7,0 -	4 -
17	0,0 -	18	6,8 -	6 -
19	0,4 -	20	6,8 -	10 -
21	0,4 -	22	6,9 -	15 -
23	0,0 -	24	6,9 -	20 -
25	0,0 -	26	5,9 -	25 -
27	0,5 -	28	5,9 -	30 -
29	0,5 -	30	5,9 -	35 -
31	0,5 -	32	6,8 -	40 -
33	0,4 -	34	6,5 -	50 -
35	0,2 -	36	6,8 -	70 -
37	0,1 -	38	6,8 -	70 -
39	0,5 -	40	6,6 -	90 -
41	0,0 -	42	6,8 -	90 -
43	0,5 -	44	6,4 -	110 -
45	0,1 -	46	6,7 -	110 -
47	0,5 -	48	6,1 -	150 -
49	0,4 -	50	6,0 -	150 -
51	0,9 -	52	3,4 -	200 -
53	0,4 -	54	2,1 -	200 -
55	0,2 -	56	0,3 -	200 -
57	1,7 -	58	0,5 -	200 - (!)
59	1,1 -	60	0,4 -	200 -

Digitized by Google

Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei nicht polarisirten Nerven.	Zahl der Zuckung.	Zuckungsgrösse bei polarisirten Nerven.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung.
61	2,5 Mm.	62	0,4 Mm.	200 Cm.
63	3,1 -	64	0,0 -	270 -
65	4,6 -	66	0,0 -	270 -
67	4,5 -	68	0,0 -	270 -
69	4,8 -	70	0,0 -	340 -
71	4,7 -	72	0,0 -	340 -
73	5,4 -	74	0,0 -	425 -
75	5,0 -	76	0,0 -	510 -
77	5,1 -	78	0,0 -	595 -
79	4,9 -	80	0,0 -	680 -
81	5,0 -	82	0,0 -	850 -
83	5,4 -	84	0,0 -	1020 -
85	0,3 -	86	4,7 -	4 -
87	0,0 -	88	4,4 -	4 -

Die Länge des Musculus gastroknemius war = 34 Mm. — Die constante Ablenkung der Multiplicatornadel bei 200 Cm. Nebenschliessung und 6 Elementen betrug genau 38°, wie bei dem vorigen Versuche, der an demselben Tage, wie dieser angestellt ist, wenn auch nicht an demselben Frosche.

Aus allen diesen Versuchen dürfen wir demnach den Schluss ziehen, dass der Lauf der Function der Stromstärke nicht merkbar verschieden ist, welches auch die Länge der intrapolaren Strecke sein möge. Ferner aber stimmen, wie wir gesehen haben, diese Versuche durchaus mit denjenigen überein, welche wir zur Erforschung der aufsteigend durchflossenen Strecke anstellten und im vorigen Abschnitte zum Theil mitgetheilt haben. Diejenige Stromstärke, bei welcher die Funktion ihr Zeichen umkehrt, scheint nur beim absteigenden Strome etwas höher zu liegen. Indessen möchte ich hierauf kein Gewicht legen, weil diese Versuche in der Zeit um Wochen auseinander liegen, innerhalb welcher eine Variation in den Magnetismen und der Aufhängung der Nadeln des Multiplicators, sowie eine kleine Verschiebung des Com-

pensationsstabes, der die Nadel auf Null hielt, allerdings mit Bestimmtheit nicht in Abrede gestellt werden kann. Gleichwohl darf ich soviel behaupten, dass dieser Unterschied nur sehr gering sein könnte.

Kapitel III.

Untersuchung der totalen Erregbarkeitsänderung in der absteigend durchflossenen Strecke als Function der Stärke des polarisirenden Stromes mit Hülfe der chemischen Reizung.

Die Methode, deren ich mich bei dieser Frage bediente, bleibt dieselbe, wie bei der analogen, welche bei Untersuchung der aufsteigend durchflossenen Strecke befolgt wurde. Wir wählen wiederum eine grössere Strecke von 10—20 Mm. als intrapolare und setzen die grösste Länge derselben der Aetzung mit concentrirter Kochsalzlösung aus. Sobald dann nach einigen Sekunden der Tetanus beginnt, schliesst man den polarisirenden Strom, nachdem man vorher eine gewisse Zahl von Stromstärken sich gewählt hat, welcher der Nerv ausgesetzt werden soll. Die schwachen Ströme vermehren nun den Tetanus, welcher mit zunehmendem Strome bis zum Maximum desselben anwächst; mit weiter wachsender Stromstärke wird dann aber wieder die durch dieselbe hervorgebrachte Vermehrung des Tetanus immer kleiner, bis sie schliesslich der Null gleich kommt. Wählt man dann noch höhere Stromeskräfte, so verschwindet bei der Schliessung der Tetanus augenblicklich. Es versteht sich wohl von selbst, dass man den Kochsalztropfen, der die gewählte Nervenstrecke umspült, entferne, ehe man den Strom durchleiten will, weil er sonst einen grossen Theil des Stromes vom Nerven abblenden würde. Darum ist es vortheilhaft, auch vorher noch die dem Nerven etwa noch anhaftende Schicht von Kochsalzlösung von seiner Oberfläche mit Fliesspapier aufzusaugen.

Der einzige gegen diesen Versuch mögliche Einwand entspringt aus der tetanisirenden Wirkung des constanten

Digitized by Google

Stromes. Hiergegen ist nun zunächst zu bemerken, dass der Tetanus nach der Aetzung auch dann erscheint, wenn vor der Aetzung wegen der Kürze der intrapolaren Strecke kein Tetanus durch die verschiedenen Werthe der Stromstärken hervorgebracht werden konnte. Erträgt aber der Nerv gleich anfangs den Strom nicht ohne tetanus, so muss man ihn erst durch Hindurchleitung eines stärkeren Stromes weniger empfindlich machen, so dass er dann die verschiedenen Stromstärken nicht mehr mit Tetanus beantwortet. Auf diese Weise habe ich mich überzeugt, dass in der That auch mit Hülfe der chemischen Reizung dasselbe Gesetz nachweisbar sei, wie mit Hülfe der electrischen.

Kapitel IV.

Untersuchung der Veränderung der partiellen Erregbarkeit der absteigend durchflossenen Strecke als Function der Stärke des electrotonisirenden Stromes.

Im vierten Kapitel des vorhergehenden Abschnittes habe ich die analoge Frage behandelt und die Gesichtspunkte aufgestellt, welche uns bei ihrer Erforschung maassgebend waren. Die dort zur Anwendung gekommenen Methoden bleiben auch hier durchaus gültig und führen zu genau denselben Resultaten, welche in folgendem allgemeinen Gesetze begriffen sind:

> Der Erregbarkeitszuwachs, welcher in einem gegebenen Punkte der intrapolaren Strecke beobachtet wird, befolgt, als Funktion der Stromstärke betrachtet, genau dasselbe Gesetz, welches wir bei Untersuchung des Zuwachses der totalen Erregbarkeit in den vorigen Kapiteln kennen gelernt haben. Die Stromstärke aber, bei welcher die Funktion ihr Zeichen hier umkehrt, ist um so grösser, je weiter die gereizte Stelle der

Digitized by Google

intrapolaren Strecke von der positiven Electrode entfernt ist.

Hier kann diese Thatsache durchaus keine andere Deutung zulassen, als dass der Indifferenzpunkt wirklich mit wachsender Stromstärke vom positiven zum negativen Pole wandert. Auch hier konnte der Beweis nur mit Hülfe der localen chemischen Reizung ganz in derselben Weise wie im vorigen Abschnitte geführt werden. Es ergab nun die Untersuchung wirklich äusserst entschiedene und scharfe Resultate.

Ich stelle in folgender Tabelle wiederum die Werthe für die Längen des nebenschliessenden Rheochorddrahtes zusammen, bei welchen sich für die verschiedenen intrapolaren Viertel das Zeichen der Funktion umkehrte.

Tabelle.

Länge der Rheochord-Nebenschliessung bei Reizung im ersten Viertel.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung bei Reizung im zweiten Viertel.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung bei Reizung im dritten Viertel.	Länge der Rheochord-Nebenschliessung bei Reizung im vierten Viertel.
2 Cm.	50 Cm.	325 Cm.	1360 Cm.
1 -	10 -	300 -	1020 -
0 -	2 -	170 -	850 -
0 -	0 -	160 -	680 -
0 -			360 -
0 -			320 -
0 -			
0 -			

Die intrapolare Länge war = 40 Mm.

Hiermit dürfte unsere Behauptung erwiesen sein, indem ich mit Bezug auf die tetanisirende Wirkung des Stromes noch auf das vorhergehende Kapitel verweise.

Ein interessanter Versuch, welcher hierher gehört, ist folgender: Wenn man die Aetzung für den absteigenden Strom in dem vierten Viertel anbringt, so erzeugt die Schliessung eines mittelstarken Stromes also heftige Vermehrung des

Digitized by Google

Tetanus, während derselbe Strom aufsteigend den Tetanus augenblicklich auslöscht; denn für ihn ist ja die Reizung im ersten Viertel. Zweitens: brachten wir aber die Aetzung für den absteigenden Strom im ersten Viertel an, so bewirkt die Schliessung des absteigenden mittelstarken Stromes augenblickliches Verschwinden des Tetanus, während derselbe Strom aufsteigend den vorhandenen selbst schwachen Tetanus auf das heftigste vermehrt. Oefteres Umlegen des Stromwenders mit gleichem Erfolge zeigt, dass wir hier nicht durch das Phänomen von J. Rosenthal getäuscht worden sind.

Kapitel V.

Untersuchung der Abhängigkeit der totalen Erregbarkeit der absteigend durchflossenen intrapolaren Strecke von der Zeit.

Mit Bezug auf diese Frage muss ich mich auf dasjenige beziehen, welches im vorigen Abschnitte erörtert worden ist. Die Methoden sind dieselben und die Resultate wichen nicht bemerkbar von den dort erhaltenen ab.

Digitized by Google

Abschnitt VIII.

Einige allgemeine thatsächliche Betrachtungen.

Kapitel I.

Ueber den Einfluss verschiedener Umstände, welche die Thiere während des Lebens getroffen haben, auf die Gesetze des Electrotonus.

Ich halte es für meine Pflicht, hier nochmals auf einen Gegenstand zurückzukommen, welcher heute noch ganz allgemein in der Physiologie gelehrt wird. Ich meine die sogenannten verschiedenen Stufen der Erregbarkeit, denenzufolge am frischen, so eben präparirten Nerven die Fundamentalgesetze der electrischen Reizung bald in der einen, bald in der anderen Weise auftreten sollen. Besonders das Zuckungsgesetz war es bisher, dessen Unkenntniss mit diesem bequemen Deckmantel anständig verhüllt wurde.

Ich bin durchaus nicht der Ansicht, als ob es individuelle Verschiedenheiten in dem feineren Baue der Nerven nicht geben würde, wie ja in der organischen Natur kein Individuum mit dem anderen in allen Stücken congruent ist. Solche Verschiedenheiten lassen sich auch in der That nachweisen. Aber man irrt sehr, wenn man glaubt, dass die Fundamentalgesetze der Einwirkung der Electricität auf die Nerven, also das Zukkungsgesetz, der Electrotonus, die Modifikationen u. s. w. bei einem Nerven sich anders darstellen, als am andern. Nein! es ist ein Nerv wie der andere. Nur die äusseren Bedingungen, unter

Digitized by Google

welchen wir denselben untersuchen, sind nicht ein Mal, wie das andere Mal beschaffen. Ich hoffe, durch diese Untersuchungen bereits diesen Satz erwiesen zu haben, da sich nach Ermittelung der Bedingungen diese scheinbar so wandelbaren Phänomene schliesslich doch zu einer fast starren Gesetzmässigkeit umgestaltet haben. Ich brauchte mich demgemäss niemals bei diesen langdauernden Forschungen über Unregelmässigkeiten zu beklagen; der einzige Unterschied, der zwischen Sommer- und Winterfröschen auftrat, war eben der sich ganz von selbst verstehende, dass 'erstere eine grössere Leistungsfähigkeit hatten. Die Gesetze aber erscheinen bei beiden in ganz derselben Weise.

Den Einfluss fremder Agentien auf die Erscheinungsweisen des Electrotonus habe ich bis jetzt noch nicht zu untersuchen Zeit gefunden, und glaube ich auch nicht, dass man hier wesentlich andere Resultate erhalten wird, als diejenigen, welche in diesem Buche mitgetheilt worden sind.

Kapitel II.

Ueber gewisse Beziehungen zwischen Anelectrotonus und Katelectrotonus.

Ich legte mir zunächst die Frage vor, ob wohl im Nerven der extrapolare Anelectrotonus ohne den extrapolaren Katelectrotonus aufzutreten vermöge, oder letzterer ohne den ersteren. Zu dem Ende durchschnitt ich den Nerven zwischen den Electroden des constanten electrotonisirenden Stromes und klebte beide Schnittflächen wieder zusammen, während die Reizung sich zwischen constantem Strome und Muskel befand. Je nach der Richtung des polarisirenden Stromes erschien aber im gesetzmässigen Sinne entweder Anelectrotonus oder Katelectrotonus. Bei Erforschung des Zuwachses der totalen Erregbarkeit in der intrapolaren Strecke als Funktion der Stromstärke waren die Verhältnisse ferner im Wesent-

Digitized by Google

lichen wie bisher. Sonach dürfte es denn durchaus wahrscheinlich sein, dass die beiden Arten des Electrotonus so nothwendig stets bei jeder Stromesschliessung auftreten, wie bei der Electrolyse eines Salzes die Säure nie frei werden kann, ohne dass dies auch mit der Basis der Fall ist.

Eine fernere Frage nun war die Vergleichung der Intensität, mit welcher sich die beiden Arten des Electrotonus über die extrapolaren Strecken verbreiten. Nach du Bois-Reymond ist die positive Phase oder vielmehr sein positiver Zustand (Anelectrotonus) dem negativen überlegen. Wir müssten also erwarten, dass bei Untersuchung der Erregbarkeitsveränderungen zwischen constantem Strom und Muskel der aufsteigende Strom noch eine Wirkung hervorbringt, wenn der absteigende es bereits nicht mehr vermag. Anders lassen sich diese Zustände bei unserer Methode nicht vergleichen. Ich untersuchte den Gegenstand und fand aber, dass bei ausreichender Schwäche des polarisirenden Stromes und ausreichender Entfernung des reizenden von der intrapolaren Strecke die Wirkungen beider Ströme nahezu gleichzeitig verschwanden. Eine geringe Ueberlegenheit hatte in der That der aufsteigende Strom; als ich aber den Nerven zwischen constantem Strome und Muskel durchschnitt, war eine sehr geringe, offenbar unipolare Wirkung des constanten Stromes vorhanden, welcher das Resultat zugeschrieben werden konnte. Diese Wirkung rührte von der Ausgleichung der Spannungen zwischen den beiden nächsten Polen des constanten und reizenden Stromes her und konnte hier, wo es sich um eine sehr kleine Grösse handelte, nicht vernachlässigt werden. Die einzige noch mögliche sichere Methode bleibt die chemische Reizung, mit Hülfe deren ich aber den Versuch anzustellen noch nicht Musse gefunden habe.

Bemerkenswerth war bei diesen Versuchen, dass der aufsteigende Strom immer um so kräftiger wirkte, wenn ich vorher den absteigenden einige Augenblicke geschlossen gehalten hatte und dann plötzlich den Commutator umlegte. Das ist in Uebereinstimmung mit dem, was Valentin bereits beobachtet hat, als er die Abnahme der Erregbarkeit hinter dem

aufsteigenden Strome entdeckte. Ausserdem aber ist die Erscheinung wohl in Zusammenhang zu bringen mit dem von Isidor Rosenthal aufgestellten Gesetze für die durch schwache Ströme herbeigeführte Modifikation des Nerven.

Kapitel III.

Ueber die Beziehungen der Erregbarkeitsänderungen zu den Veränderungen der electromotorischen Kräfte des Nerven im electrotonischen Zustande.

Der grosse Reiz, welchen mir die hier zu Ende geführte Untersuchung geboten hat, entsprang zum Theile aus der Frage nach den Beziehungen, welche zwischen den Veränderungen der Erregbarkeit und den electromotorischen Wirkungen im Electrotonus stattfinden möchten. Es sind nun in der That — man darf es behaupten — unsere Erwartungen nicht allein gerechtfertigt, sondern sogar übertroffen worden. Denn die Gesetze, welche der Gang der Nadel am Multiplicator verkündet hat, sind geradezu identisch denjenigen, welche das andere, nämlich das physiologische Reagens, nunmehr auf das Klarste dargelegt hat. Die auffallende Uebereinstimmung der von mir angegebenen, bereits anderwärts mitgetheilten Thatsachen mit den rein electrischen hat ja bekanntlich auch deshalb in einem oft genannten Forscher so grosse Zweifel erweckt, dass er darum fast ganz offen glaubte mir vorhalten zu dürfen, es hätten jene Resultate wohl nur in meiner Einbildung bestanden. Wenn ich nun auch zugestehe, nicht ohne vorgefasste Meinung an die Untersuchung gegangen zu sein, so muss mir der Leser doch auf der anderen Seite zugeben, dass bei der Wahl der beschriebenen Methoden der zu beobachtende Erfolg durchaus unabhängig von meinem Wollen und Wünschen gewesen sei.

Es dürfte wohl, so scheint es mir, nicht unangemessen sein, wenn ich hier dem Leser einen Gesammtüberblick gebe

über die Congruenz der durch den Electrotonus bedingten Veränderungen der Erregbarkeit einerseits und der electromotorischen Kräfte des Nerven andererseits.

Die Veränderung, welche du Bois-Reymond nachgewiesen hat, bezieht sich nun, wie wir wissen, auf die extrapolaren Strecken, höchst wahrscheinlich aber auch auf die intrapolaren. Sie besteht darin, dass der Nerv augenblicklich nach der Schliessung des Stromes electromotorisch mit bedeutender Kraft zu wirken beginnt, so zwar, dass ein gleichartiger Bogen, welcher mit beiden Füssen einer extrapolaren Strecke angelegt wird, einen Strom im Nerven anzeigt, welcher dem polarisirenden Strome gleichgerichtet ist.

Wie wir gefunden haben, ist nun auch die Erregbarkeit nicht allein in den extrapolaren, sondern auch in den intrapolaren Strecken verändert. Sehen wir jetzt zu, wie sich mit den verschiedenen Variabeln Erregbarkeit und electromotorische Kraft verändern.

Du Bois-Reymond zeigt zunächst, dass mit wachsender Stromstärke die Grösse der dipolaren Kräfte in rascher Zunahme begriffen sei. (S. du Bois-Reymond, Untersuchungen. Bd. II. p. 333.) Wir mussten ein Gleiches von dem Zuwachse der Erregbarkeit behaupten. Was nun die Grenzwerthe der noch wirksamen Stromstärken betrifft, so erkundigen wir uns zunächst mit du Bois-Reymond, „ob bei stets abnehmender Stärke des erregenden (polarisirenden) Stromes die säulenartige Polarisation vielleicht zugleich mit den Zuckungen aufhöre, wahrnehmbar zu sein, ob sie scheinbar früher ein Ende nehme, oder endlich ob sie sich als ein feineres Prüfungsmittel, denn die Zuckungen selber, kundgebe für die Veränderung der inneren Gleichgewichtszustände durch den Strom“. (S. du Bois-Reymond a. a. O. Bd. II. p. 336.) Du Bois-Reymond glaubt das Letztere mit Bestimmtheit bejahen zu dürfen. (S. du Bois-Reymond a. a. O. Bd. II. p. 541 u. flgde.) Wir selbst sind zu dem gleichen Resultate geführt worden, indem wir mit Strömen, welche längst keine Spur weder von Schliessungs-, noch Oeffnungszuckung hervorbrachten, den Erregbarkeitszuwachs noch äusserst deutlich

in gesetzmässigem Sinne nachzuweisen vermochten. Am Besten gelingt, wie aus mehreren Gründen nun ersichtlich sein wird, der Nachweis an den tieferen Stellen des Nervus ischiadicus. Wir können demnach behaupten, dass unsere Methoden es an Empfindlichkeit mit dem grossen Multiplicator für den Nervenstrom entschieden aufzunehmen im Stande sind. Was aber endlich die Frage nach derjenigen Stromstärke betrifft, welche vielleicht das Maximum des Electrotonus hervorzuzubringen im Stande ist, so ist weder du Bois-Reymond noch ich an eine solcher Grenze bestimmt angelangt. (S. du Bois-Reymond a. a. O. Bd. II. p. 335.) Du Bois-Reymond ging bis zu 15, ich bis zu 10 Grove'schen Elementen. Die durch den starken Strom herbeigeführte rasche Zerstörung der intrapolaren Strecke setzt dem Versuche ein schnelles Ende. „Es ist demnach," wie du Bois-Reymond richtig sagt, „sehr zweifelhaft, ob sich diese Ermittelung überhaupt zu einem sicheren Ende führen lasse. Denn es ist nicht undenkbar, dass der Nerv, wenn er nur ihre (der Säule) Einwirkung vertrüge, bei einer grösseren Stromesdichte auch noch immer stärkere Wirkungen von sich geben könnte, weit hinaus über diejenigen, welche die Grenze seiner Leistungsfähigkeit unter dem Einflusse des erregenden (polarisirenden) Stromes wirklich zu beobachten gestattet." (S. du Bois-Reymond a. a. O. Bd. II. p. 335 u. 336.) Du Bois-Reymond hat endlich noch genauer das Gesetz bestimmt, nach welchem die dipolaren Kräfte mit dem polarisirenden Strome wachsen. Diese Bestimmung wurde durch die sinnreiche Benutzung einer Thatsache möglich, welche wir der Natur der Sache nach nicht in Anwendung bringen konnten. Dieser Forscher (s. a. a. O. Bd. II. pag. 416 und flgde.) erschloss nämlich das Gesetz einer strengen Proportionalität aus dem Umstande, dass Tetanisiren mit dem Magnetelectromotor, so lange die Ströme unter einer gewissen bereits beträchtlichen Höhe bleiben, niemals eine Spur von Zuwachs am Multiplicator zur Erscheinung bringt, wenn der Nerv mit electromotorisch indifferenten Punkten den Bäuschen angelegt worden ist. Offenbar sind nun hier die positiven Integrale

Digitized by Google

aus den Stromdichten, welche Function der Zeit sind, den negativen absolut gleich, obwohl die Funktionen selbst in ewigen Fluctuationen begriffen sein müssen.

Wie aber nun du Bois-Reymond ferner (s. du Bois-Reymond a. a. O. Bd. II. p. 337—350) den Beweis geliefert hat, dass die dipolaren Kräfte mit wachsender Länge in rascher Zunahme begriffen seien, so sahen auch wir den Erregbarkeitszuwachs mächtig zunehmen, wenn wir selbst unter den ungünstigsten Verhältnissen die intrapolare Strecke verlängerten.

Was derselbe Forscher ferner von dem electromotorischen Zuwachs sagt, wenn man diesen als Funktion der Entfernung von der intrapolaren Strecke auffasst, gilt buchstäblich, wie uns ja eine lange Untersuchung gelehrt hat, auch für den Erregbarkeitszuwachs, weshalb wir dessen Worte wiedergeben: „Es hat schon — — bemerkt werden müssen, dass die Grösse des Zuwachses mit der Entfernung von den Electroden immer mehr abnimmmt. (S. oben p. 299, 307, 317, 325.) Wir haben diesen Umstand sogar schon in die Curve des Zuwachses aufgenommen — —. Er ist in der That so auffallend, dass zu seiner Wahrnehmung meist keine weiteren künstlichen Versuchsweisen gehören. Es genügt, die Veränderung des Nervenstromes (bei uns der Erregbarkeit. Ref.) beim Eintritt des electrotonischen Zustandes, sei's in der einen, sei's in der andern Phase, nach einander bei zwei oder mehreren verschieden weit von dem vorderen Platinbleche entfernten Stellungen der Bäusche (bei uns der Reizelectroden) zu beobachten, um sich von dem Wachsen dieser Veränderung in einem umgekehrten Verhältniss der Entfernung der abgeleiteten von der erregten (polarisirten) Strecke zu überzeugen." (S. du Bois-Reymond a. a. O. Bd. II. p. 300.)

Alles passt, wie der Leser nun weiss, genau auf das Gesetz, nach welchem der Erregbarkeitszuwachs mit der Entfernung abnimmt. Es ist dies ebenso auffallend ausgesprochen, wie das von du Bois-Reymond aufgestellte Gesetz.

Ebenso gilt ferner für die Ausbreitung der dipolaren Polarisation, wie für die Veränderung der Erregbarkeit der Satz du Bois-Reymond's buchstäblich: „Eine absolute Bestim-

Digitized by Google

mung, auf welche Entfernungen hin die säulenartige Polarisation am Nerven noch merkbar sei, lässt sich begreiflich nicht geben, weil dabei die Empfindlichkeit des stromprüfenden Mittels in Betracht kommt. Ich selber kann nur sagen, dass ich auch bei den grössten Entfernungen, über welche ich an Froschnerven gebot, also unter Umständen mehreren (bei mir 8 Cm. Ref.) Centimetern Abstand zwischen Blechen (bei mir constantem Strome. Ref.) und Bäuschen (bei mir reizendem Strome. Ref.), bei hinreichender Stärke des erregenden Stromes — — stets noch im Stande gewesen bin, unzweideutige Spuren positiven und negativen Zuwachses wahrzunehmen. (S. du Bois-Reymond a. a. O. Bd. II. p. 362.)

Sodann kommen wir aber noch auf einen Umstand von nicht geringer Bedeutung zu sprechen. Du Bois-Reymond hat bekanntlich mit Hülfe des Multiplicators den Satz aufstellen können, dass in dem Nerven in Bezug auf die Verbreitung der negativen Schwankung und säulenartigen Polarisation kein Unterschied zwischen centrifugaler und centripetaler Richtung vorhanden sei, mag man es nun mit einem motorischen oder sensiblen Nerven zu thun haben. Dieses äusserst wichtige Gesetz ist nicht allein an gemischten Nerven wahrscheinlich gemacht worden, indem sich kein bemerkenswerther Unterschied darbot, gleichviel ob das Hirnende auf den Blechen und das Muskelende auf den Bäuschen lag, oder ob das Umgekehrte stattfand. Es ist vielmehr von du Bois-Reymond dieses Gesetz an den motorischen und sensiblen Wurzeln des Frosches direct thatsächlich erwiesen worden. (S. du Bois-Reymond a. a. O. Bd. II. p. 587 u. flgde.) Von einem Querschnitt pflanzt sich demnach säulenartige Polarisation wie negative Schwankung nach beiden Seiten merkbar gleich gut fort.

Unsere Versuche nun sind zwar an einem gemischten Nerven angestellt, thatsächlich aber doch nur an dem motorischen, weil die Empfindungsfaser hier eine gleichgültige Nebenschliessung gleich dem Bindegewebe für den Strom bildet, welcher den Bewegungsnerven durchströmt.

Digitized by Google

Unsere Frage ist lediglich und allein an den Bewegungsnerven gerichtet, und nur dieser giebt Antwort. Wir haben nun die wichtige Thatsache constatiren können, dass sich im motorischen Nerven der Zustand veränderter Erregbarkeit in centripetaler Richtung mit abnehmender Stärke fortpflanzt, da oberhalb des absteigenden Stromes die Erregbarkeit herabgesetzt, oberhalb des aufsteigenden erhöht gefunden wurde, und zwar um so mehr, je näher der Electrode des polarisirenden Stromes die Untersuchung vorgenommen wurde, während wir unterhalb des absteigenden Stromes umgekehrt die Erregbarkeit erhöht, unterhalb des aufsteigenden herabgesetzt fanden.

Bei den Stromstärken, welche diese Gesetze nachzuweisen erlauben, war ja aber die directe Erregbarkeit wohl bereits sehr bedeutend, nicht aber die Leitungsfähigkeit der Nerven merkbar verändert, so dass es nicht gut möglich scheint, daran zu zweifeln, dass jener veränderte Zustand sich wirklich centripetal im Bewegungsnerven ausgebreitet habe. Vor mir hat, so viel ich weiss, noch Niemand dargethan, dass ein rein physiologischer Zustand im motorischen Nerven sich centripetal fortgepflanzt habe, weshalb diese Thatsachen der reinen Electrophysiologie als fernere Bestätigung willkommen sein dürften. Die Resultate, welche man vor mir bei Reizung oberhalb eines constanten Stromes kannte, wurden und mussten alle so gedeutet werden, als ob die intrapolare Strecke die Leitung der Reizung unterbrochen habe, da man ja Nichts als den einen Versuch kannte, bei dem man die Erregbarkeit scheinbar herabgesetzt findet, welches auch die Richtung des polarisirenden Stromes ist.

Es hat aber hiermit noch sein Bewenden nicht, sondern die Ansicht, welche keine irgend in Betracht kommenden Unterschiede in der Richtung der Faser statuirt, wird hierin weiter durch das Resultat unserer Untersuchungen gestützt, dass zwar nicht allein jener Zustand veränderter Erregbarkeit sich im Bewegungsnerven in centripetaler Richtung fortpflanze, sondern dass die Zustände vor und hinter dem Strome identische sind, mögen sich dieselben in auf- oder absteigen-

Digitized by Google

der Richtung fortgepflanzt haben. Man würde also bei Hindurchleitung eines Stromes durch einen gegebenen ausgeschnittenen Nerven genau die Zustände der veränderten Erregbarkeit im Allgemeinen angeben können, selbst wenn man durchaus nicht wüsste, welches das peripherische und welches das centrale Nervenende wäre. Bei höheren Stromesstärken lässt sich mit Hülfe des Muskels diese Thatsache nicht mehr demonstriren, gilt aber, wie wir später wahrscheinlich machen werden, doch noch gewiss.

Wir sind hiermit zur Frage angelangt, wie es sich am Multiplicator für jene verchiedenen Zustände vor und hinter dem Strome verhalte. — Es ist unzweifelhaft bemerkenswerth, dass du Bois-Reymond, der bei den damaligen Kenntnissen doch gar keinen Grund hatte, Unterschiede in den extrapolaren Strecken zu vermuthen, falls sie vor oder hinter dem Strome gelegen seien, dennoch durch seine Untersuchungen dahin geführt wird, in der That zwei Zustände zu unterscheiden, ja sogar zu bezeichnen, wenn er bei Ableitung von symmetrischen Punkten des Nerven, nicht von Phasen reden konnte. Er nannte dann den Zustand vor dem Strome, den von uns sogenannten Katelectrotonus, die negative Polarisation, den hinter demselben aber die positive. Merkwürdig ist nun allerdings, dass die hier auftretenden Unterschiede nach dieser Richtung andere und nicht so grosse sind, als man wohl zu erwarten geneigt wäre, nach den grossen Verschiedenheiten, welche bei unsern Untersuchungen auf den Strecken vor und hinter dem Strome erkannt wurden. Bei uns ist der Zuwachs hier positiv, dort negativ; beim Multiplicator aber ist er im Bereiche des Anelectrotonus von demselben Zeichen, wie im Bereiche des Katelectrotonus, unterscheidet sich aber allerdings darin, dass derselbe in dem Bereiche des Anelectrotonus absolut grösser ist, als in dem Bereiche des Katelectrotonus, und dass ausserdem die Curve der dipolaren Kräfte, welche auf den polarisirten gerade gedachten Nerven als Abscisse bezogen ist, steiler abfällt vor dem Strome als hinter demselben. Wir müssen uns demnach vor der Hand mit diesem Unterschiede genug sein lassen und

Digitized by Google

bekennen, dass in der That kein tieferer Grund vorhanden ist, weshalb auch das Zeichen des electromotorischen Zuwachses zu den beiden Seiten der intrapolaren Strecke verschieden sein sollte. (S. noch du Bois-Reymond a. a. O. Bd. II. p. 371 u. flgde.)

So scheinen sich denn die inneren Veränderungen jenes wunderbaren Zustandes, des Electrotonus, sowohl bei Untersuchung mit dem physikalischen wie physiologischen Reagens zu einem harmonischen Bilde zusammenzufügen, so lange es sich nur darum handelt, den inneren Zustand eines gegebenen Nervenelementes zu kennen.

Es bleiben uns aber noch einige Fragen von ganz ausserordentlicher Bedeutung zurück. Es ist dies das Problem nach der specifischen Empfänglichkeit der Nervenmolekeln für den electrotonischen Zustand, wenn sie bereits polarisirt sind und zwar entweder vor oder hinter dem Strome liegen. Hieran reiht sich die zweite Frage nach der Fähigkeit eines bereits polarisirten Querschnittes eine zweite neue in demselben Nerven erregte Polarisation auf die nächst folgenden Querschnitte zu übertragen. Hier zeigt sich denn nun auch bei electrischer Untersuchung ein ganz capitaler Unterschied, ob wir die specifische Empfänglichkeit des Nerven für die Polarisation im Bereiche des Katelectrotonus oder im Bereiche des Anelectrotonus prüfen. Gehen wir von der Voraussetzung der Anwendung schwächerer Ströme aus, so zeigt es sich, dass alle vor dem Strome (in dem Bereiche des Katelectrotonus) gelegenen Strecken eine grosse Empfänglichkeit für den Electrotonus zeigen, während alle Strecken hinter dem Strome von ihrer natürlichen Empfänglichkeit bedeutend eingebüsst haben, sodass der zweite Strom von der einen Stelle eine deutliche, von der andern gar keine Polarisation hervorzubringen vermag. Wie auffallend stimmt dieses mit unseren Erfahrungen, denenzufolge vor dem Strome die Molekeln leichter, hinter dem Strome schwerer als im natürlichen Zustande in den der Reizung überzuführen sind. Das ist aber noch lange nicht Alles! Wenn wir die Strecken hinter dem Strome zu polarisiren streben, so wird weder Reizung noch säulen-

Digitized by Google

artige Polarisation an dieser Stelle hervorgebracht und pflanzt sich deshalb auch nach keiner Richtung fort. Suchen wir aber Reizung oder säulenartige Polarisation auf den vor dem Strome gelegenen Strecken auszulösen, so geschieht dies jetzt nicht nur, sondern es pflanzt sich dieser neue Zustand nun auch nach beiden Seiten und zwar entschieden auch nach jenen unempfindlichen, hinter dem Strome gelegenen Strecken fort, welche der sie direct angreifenden äusseren Kraft so hartnäckig widerstanden. Diese Thatsache ist wiederum ganz ausserordentlich wichtig. Aber auch hiermit ist die Uebereinstimmung noch nicht zu Ende, sondern es zeigt sich weiter, dass für die Erscheinungen am Multiplicator dieses Gesetz durchaus dasselbe bleibe, mag der erste polarisirende Strom im Nerven auf- oder absteigend sein. Es verliert mithin, so lange dieser Strom nicht eine gewisse Grösse überschreitet, der Nerv durch denselben die Empfänglichkeit für den electrotonischen Zustand und die Reizung, wenn eine äussere Kraft die Strecke hinter dem Strome angreift; weit weniger aber oder fast gar nicht wird er in der Fähigkeit beeinträchtigt, die einmal ausgelöste zweite Polarisation oder Reizung von einem zum anderen Querschnitt zu übertragen. Aber auch mit dieser Uebereinstimmung sind wir noch nicht zu Ende. Wir finden nämlich ferner, dass bei einer gewissen Stärke des ersten polarisirenden Stromes auch die Leitungsfähigkeit des Nerven für Reizung und Polarisation auf den Strecken im Bereiche des Anelectrotonus bedeutend abgenommen hat. Die Thatsachen, welche ich hier über den Electrotonus berichte, sind dieselben, welche du Bois-Reymond angegeben hat, wo er von der Erscheinungsweise der säulenartigen Polarisation bei gleichzeitiger Einwirkung zweier Ströme auf den Nerven handelt. (S. du Bois-Reymond, Untersuchungen. Bd. II. p. 350 u. flgde.) Ihre Darstellung und Auffassung ist nur hier natürlich eine andere geworden, wie man bei Vergleichung der angezogenen Stelle bemerken wird. Auch sind deshalb bei du Bois-Reymond noch einige Versuche nicht angestellt, deren Erfolg zu kennen uns wünschenswerth sein würde. Es wäre z. B. zu erwarten,

Digitized by Google

dass wenn ein starker polarisirender Strom, im Multiplicator positive Phase anzeigte, also Anelectrotonus, ein zweiter polarisirender Strom von diesen anelectrotonisirten Strekken keine am Multiplicator bemerkbare Phase zu erzeugen vermöchte, während derselbe letztere Strom dies leicht thun müsste, wenn jener erste Strom am Multiplicator den Katelectrotonus anzeigte, wenn man also mit anderen Worten die katelectrotonisirten Strecken auf ihre specifische Empfänglichkeit für die beliebig gerichtete Polarisation prüfte. Bei diesem würde also, damit man mich recht verstehe, der prüfende Strom, der bei meinen Untersuchungen der reizende war, zwischen den Bäuschen und dem ersten constanten Strome angebracht sein müssen. Damit die Nadel immer bei jedem Versuche in derselben Breite wäre, müsste man den im Multiplicator kreisenden Totalstrom vor Anwendung des prüfenden compensiren.

Es bleiben nun endlich die Uebereinstimmungen zu betrachten, welche sich auf die Abhängigkeit der electrotonischen Veränderungen von der Leistungsfähigkeit des Nerven beziehen.

Wie der electrotonische Zuwachsstrom geringer wird mit abnehmender Leistungsfähigkeit des Nerven, mag dieselbe erst im Laufe des Versuches selber gelitten haben oder bereits von Anfang gering gewesen sein, so erscheinen denn auch die Veränderungen der Erregbarkeit kleiner, und ihre Gesetze sprechen sich nicht mehr mit derselben Schärfe aus. Durch öfteres Schliessen, Wiederumöffnen der Kette und Umkehren des Stromes aber werden sowohl der Zuwachsstrom wie die Veränderung der Erregbarkeit ganz entschieden oft bedeutend an Stärke vermehrt, wie dies bereits oben mehrmals hervorgehoben worden ist. Am Besten finde ich die Frösche während des Sommers und Herbstes, weniger gut, aber vollkommen brauchbar in der ersten Hälfte des Winters und im Frühjahr, nachdem sie bereits gefressen haben. Ende Februar und im März aber sind die Winterfrösche zu solchen Versuchen nur sehr wenig tauglich, obschon sich doch alle Gesetze, wenn auch schwieriger, entschieden nachweisen lassen.

Digitized by Google

Bei Untersuchung der electrischen Erscheinungen am Multiplicator berichtet du Bois-Reymond im Allgemeinen dasselbe.

Dass beide Ischiadici verschiedene Erfolge mitunter geben und zwar der zweite, der länger gelegen hat, die besseren, wie du Bois-Reymond berichtet, habe auch ich mitunter wahrgenommen.

Es blieb uns endlich noch die Betrachtung der Frage nach der Abhängigkeit der Erscheinungen von der Zeit. Du Bois-Reymond hat gezeigt, dass der electrotonische Zuwachsstrom selbst bei dem flüchtigsten Inductionsstrom zu seiner Entwicklung die ausreichende Zeit finde. Ein Gleiches kann ich von der Geschwindigkeit behaupten, mit welcher bei stärkeren Strömen die Veränderung der Erregbarkeit nach der Schliessung des polarisirenden Stromes erscheint. Es tritt dieselbe nämlich gewiss nicht langsamer ein, verbreitet sich über den Nerven mit gewiss nicht geringerer Geschwindigkeit, als es jene Veränderungen thun, von welchen der Strom der säulenartigen Polarisation herrührt. Zur Ausführung dieser Zeitbestimmung, welche in mehrfacher Beziehung von Interesse war, habe ich folgenden Weg eingeschlagen.

Ich präparire zwei stromprüfende Schenkel von demselben Frosche. Den Nerven des einen Schenkels lege ich mit dem plexus sacralis auf ein Electrodenpaar von 4 Mm. Spannweite, so aber, dass die intrapolare Strecke vom Querschnitt etwa 8 — 10 Mm. noch entfernt ist. Dieses Electrodenpaar steht mit einer nicht geschlossenen Volta'schen Säule von 5 — 6 Grove'schen Elementen in Verbindung. Man denke sich nun diesen Ischiadicus horizontal sanft ausgespannt und zwischen Muskel und dem genannten Electrodenpaar, welches ich fortan das erste nennen will, ein zweites Electrodenpaar von gleicher Spannweite wie das erste angebracht. Die zwischen beiden intrapolaren Strecken gelegene Länge des Nerven sei = 5 Mm. Das zweite Electrodenpaar besteht nun aus zwei geraden, mit einander durchaus parallelen, horizontal liegenden, sonst isolirten Platindrähten. Ueber die beiden anderen noch freien Enden dieser Platindrähte brückt man dann

den Nerven des zweiten stromprüfenden Schenkels, welcher ganz durch Glas und Luft isolirt ist, wie der erste. Die Spannweite des zweiten Electrodenpaares am zweiten Nerven sei gleich der am ersten Nerven und umfasse genau dieselbe Stelle bei beiden, sodass also bei beiden die intrapolare Strecke gleich weit entfernt ist vom Muskel. Wir wollen, wie man sieht, secundäre Zuckung hervorbringen und zwar durch einen Strom, welcher durch den ersten Nerven in aufsteigender Richtung geschlossen wird. Der zweite Nerv werde demgemäss so über die Platindrähte gelegt, dass der Strom der säulenartigen Polarisation in aufsteigender Richtung in denselben eintritt. Unsere Betrachtung war nun folgende: Mit dem Augenblicke der Schliessung des polarisirenden Stromes der Säule werden zunächst die intrapolaren Molekeln in den electrotonischen Zustand übergeführt, und dann erst breitet sich von Querschnitt zu Querschnitt die säulenartige Polarisation über die extrapolaren Strecken aus. Sobald sie in die Strecke des zweiten Electrodenpaares eingebrochen sein wird, muss sich augenblicklich ein mächtiger Zweigstrom durch diesen Kreis und also auch durch den zweiten Nerven ergiessen. Der Muskel des zweiten Nerven giebt demgemäss eine kräftige Zuckung an. Derselbe Strom aber, welcher den zweiten Nerven durchfliesst, strömt auch durch den ersten an genau derselben Stelle, mit genau derselben Dichte in genau derselben Richtung. Die Curve seiner Dichtigkeit, auf die Zeit bezogen, ist endlich genau dieselbe. Wenn nun zu der Zeit, wo in dem ersten Nerven die säulenartige Polarisation bis in die Strecke des zweiten Electrodenpaares vorgerückt ist, die Erregbarkeit sich noch nicht verändert hätte, so müsste die zweite Strecke durch den Polarisationsstrom genau so erregt werden, wie dies beim zweiten Nerven in der That der Fall ist. Der starke aufsteigende polarisirende Strom giebt selber, wie ich bereits wiederholt hervorgehoben habe, keine Schliessungszuckung. Falls also jetzt bei Schliessung des starken Stromes keine Zuckung des primär erregten Schenkels erscheint, obwohl der zweite Schenkel secundär zuckt, so ist es klar, dass zu der Zeit, wo der

Digitized by Google

Polarisationsstrom durch die zweite Strecke des ersten Schenkels fliesst und den zweiten Schenkel zum Zucken bringt, auch bereits die Erregbarkeit in der zweiten Strecke des ersten Schenkels so weit herabgesetzt ist, dass der Polarisationsstrom, der den zweiten erregt, den ersten ganz ruhig lässt. In der That sieht man beim Schliessen der Säule nur secundäre ohne primäre Zuckung.

Die hier dargelegte Bestimmung ist gewiss in soferne von Wichtigkeit, als sie zeigt, dass der electrische Vorgang sich mit derselben absoluten Langsamkeit bewegt, wie der rein physiologische.

Der Versuch selbst nimmt eine sehr zierliche Form an, wenn man denselben so anstellt, dass man mit Hülfe einer wandernden Platinplatte die Zahl der Elemente von einem an fortwährend vermehrt. Mit wachsendem Strome erscheint erst die Schliessungszuckung des primär gereizten Schenkels und keine Oeffnungszuckung. Der zweite Schenkel schweigt. Schreitet man weiter, so zucken bei der Schliessung des polarisirenden Stromes beide Schenkel, keiner bei der Oeffnung. Stärker zuckt der primär erregte. Bei weiterer Steigerung des Stromes erscheint primäre und secundäre Schliessungszuckung, sowie primäre, aber nicht secundäre Oeffnungszukkung. Verstärkt man den Strom noch mehr, so tritt eben, was wir erwarten, auf: secundäre ohne primäre Schliessungszuckung, primäre ohne secundäre Oeffnungszukkung. Wächst die Stromstärke noch weiter, so ist secundäre ohne primäre Schliessungszuckung vorhanden, sowie primäre und secundäre Oeffnungszuckung. Durchschneidung oder Unterbindung zwischen beiden Electroden, die man also am primär erregten Nerven ausführt, heben alle primäre und secundäre Wirkung auf.

Für den Katelectrotonus lässt sich ein ähnlicher Versuch nicht ausführen, obschon es nach allem Vorigen äusserst wahrscheinlich ist, dass er mindestens eben so schnell wie der Anelectrotonus in den Nerven hereinbricht. Somit bleiben auch hier die electrischen Phänomene mit den Veränderungen der Erregbarkeit in schönem Zusammenhange.

Kapitel IV.

Ueber die Beziehungen der Gesetze des electrotonischen Zustandes zu dem allgemeinen Gesetze der electrischen Reizung und der tetanisirenden Wirkung des constanten Stromes.

Du Bois-Reymond hat bekanntlich zum ersten Male das allgemeine Gesetz der Nervenerregung durch den electrischen Strom aufgestellt, demzufolge die Erregung nicht erzeugt wird durch den Strom in beständiger Grösse, sondern nur durch die Aenderungen dieser Grösse von einem Augenblicke zu dem andern. (du Bois-Reymond, Untersuchungen über thierische Electricität, Bd. I. p. 258.) Eine fast zahllose Reihe von Versuchen aus der älteren Literatur des Galvanismus ordnet sich so dem allgemeinen Gesetze in wohlgefälliger Einheit unter. (Derselbe a. a. O. p. 262—274.) Es lässt sich indessen dieses Gesetz von einem noch allgemeineren Gesichtspunkte betrachten, wenn man Rücksicht nimmt auf die über die chemische und thermische Reizung bekannt gewordenen Thatsachen, wobei dasselbe seine tiefe Beziehung zur Natur der Reizung überhaupt enthüllt. Man wird so zu dem allgemeinsten Gesetze der Reizung geführt, demzufolge dieselbe abhängt von der Geschwindigkeit, mit welcher irgend welche äusseren Kräfte die innere Molecularconstitution des Nerven verändern, während ein statischer Zustand des Nerven beliebiger Art den mit demselben verknüpften Endapparat niemals erregt.

Insofern nun der constante electrische Strom einem solchen statischen Zustande der Constitution des Nerven zu entsprechen vermag, genügt er dem von du Bois-Reymond ausgesprochenen allgemeinen Gesetze der Reizung, und es stellt sich die Frage, ob dem allgemein so sei. Bekannt ist freilich, dass unter Umständen der scheinbar constante Strom den Nerven erregt, wie dies bereits du Bois-Reymond beobachtet und in folgenden Worten erklärt hat: „Nur wenn ganz übermächtige Stromeskräfte einen Nerven treffen, sieht

man wohl zu Zeiten die davon abhängigen Muskeln trotz der beständigen Grösse jener in einer unausgesetzten Reihe von Zuckungen begriffen. Allein in solchen Fällen dauern die Krämpfe nicht selten auch nach dem Oeffnen der Kette fort und wenn diese längere Zeit geschlossen bleibt, tritt sehr bald für immer Ruhe ein. Man ist also berechtigt zu schliessen, dass unter diesen Umständen die Zuckungen nicht mehr die Folge der gewöhnlichen Erregungsart durch den electrischen Strom sind, sondern vielmehr von einer zerstörenden, unstreitig auf Electrolyse beruhenden Einwirkung desselben herrühren, welche mit dem fraglichen Gesetze nichts zu schaffen hat. (du Bois-Reymond a. a. O. Bd. I. p. 258.)

Im Gegensatz hierzu leitet Eckhard jeden durch den constanten Strom herbeigeführten Tetanus aus den durch Polarisation herbeigeführten Schwankungen in der Stärke desselben ab, indem er ohne Weiteres aus dem Tetanus des Muskels auf die Inconstanz des Stromes zu schliessen sich erlaubt. (Eckhard, Beiträge zur Anatomie und Physiologie, Heft 1. p. 41.)

Ich selbst habe seit längerer Zeit der Tetanus erregenden Wirkung des constanten Stromes meine Aufmerksamkeit zugewandt, um so mehr, als sich eine höchst auffallende Beziehung dieser Wirkung zur Stärke des Stromes herausstellte und ich den Tetanus mit gleicher Kraft noch erscheinen sah, obschon ich die Polarisation der Electroden möglichst vermieden hatte. Da nun die in concentrirte Kupfervitriollösung tauchenden Kupferelectroden die Polarisation noch nicht vollkommen genug beseitigen, so wählte ich nunmehr zwei Platinelectroden, welche in je ein weites Probirgläschen tauchten, das mit der stärksten rauchenden Salpetersäure von dunkelbraunrother Farbe gefüllt war. Beide Probirgläschen waren mit einem Korke wohl verschlossen. Jeder Kork aber trug in einer Bohrung eine zweimal rechtwinklig gebogene Glasröhre, welche mit frischem Hühnereiweiss gefüllt und an dem einen Ende, wo sie mit der rauchenden Salpetersäure in Contact kommen musste, mit einem vorher in Eiweiss durchtränkten Pfropf aus Fliesspapier zugestopft war, während das an-

dere Ende mit einem Stück Blase verschlossen wurde. Die rauchende Salpetersäure lässt so das Eiweiss im Innern der Röhre stundenlang intact, sodass man nunmehr leicht den in strengem Sinne constanten Strom dem Nerven zuführen kann. Zu dem Ende tauchen die freien Enden der Röhren nochmals in zwei Gefässe mit Eiweiss, aus welchen sich mit Eiweiss gefüllte Glasröhren nach dem Nerven begeben, deren je eines an den Nerven anzulegende Ende vor der Lampe ausgezogen und dann so abgeschnitten ist, dass das entstandene Lumen einen Durchmesser von 1,5 Mm. hat. Die Säule muss natürlich mit äusserster Sorgfalt hergerichtet worden sein; die Zinkplatten frisch amalgamirt, die rauchende Salpetersäure so stark, als man sie zu erlangen vermag, da wir uns Grove'scher Elemente bedienen.

Denken wir uns nun eine gewisse Zahl von Schieberlagen am Rheochorde, dem eine gewisse Zahl von Stromstärken entspricht, und untersuchen wir, welches während der Schliessung dieser Ströme das Verhalten des Muskels sein möge.

Zunächst zeigt sich nun die bereits a priori klare Thatsache experimentell bestätigt, dass es stets eine Stromstärke von äusserster Schwäche gebe, welche niemals Tetanus erzeugt. Was aber gegen alles Erwarten war, ist der Umstand, dass die Tetanus erregende Fähigkeit auch jetzt trotz nicht vorhandener Polarisation nicht allein in derselben Weise, wie sonst, noch vorhanden ist, sondern dass dieselbe bereits bei Strömen von äusserster Schwäche anhebt, deren Grösse laut der Aussage des Multiplicators von einerlei Ordnung mit dem Muskelstrome ist. Doch steigert sich mit weiterem Wachsen der Stromstärke der Tetanus noch beträchtlich. Geht man nun noch weiter, so trifft man einen Werth der Stromstärke, bei welchem sich die wunderbare Thatsache ereignet, dass nunmehr der gewaltige Strom ohne Tetanus ertragen wird, was für alle Stromstärken über diesem Werthe fortwährende Geltung behält. Man ist geneigt, zu vermuthen, der constante Strom habe bereits durch Electrolyse die Erregbarkeit des Nerven so weit herabgebracht, dass nun selbst stärkere Ströme ohne Tetanus ertragen werden. Wählt man nun aber für den-

Digitized by Google

selben Nerven, welcher soeben den starken Strom ohne Tetanus ertrug, wieder durch Verlegung der Schieber die geringere Stromstärke, so ist auch der Tetanus mit aller Kraft und grösserer oder geringerer Dauer wieder vorhanden. Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, dass man den starken Strom nur so kurze Zeit als nöthig ist, geschlossen lässt, indem er bei längerer Schliessung natürlich wirklich den Nerven auch für schwächere Ströme unempfindlich macht. Diese Tetanus erregende Wirkung des constanten Stromes wächst äusserst rasch mit der Länge der durchströmten Strecke, welches in Uebereinstimmung ist mit der Thatsache, dass die Zuckungen, die säulenartige Polarisation, sowie die Veränderung der Erregbarkeit selbst durch schwächere Ströme von der längeren erregten Strecke aus mächtiger ausfallen. Das bis hierher beschriebene Verhalten gilt sowohl für den aufsteigenden, wie für den absteigenden Strom; nur ist dasselbe für den ersteren ungleich evidenter. Während nämlich der schwächere aufsteigende Strom nur Schliessungszuckung giebt und sehr leicht den heftigsten Tetanus, tritt der starke aufsteigende Strom in den Nerven ein, ohne dass ein leises Zucken des Muskels die mächtige Veränderung verriethe, welche in dem Nerven Platz gegriffen hat, und ohne dass der Muskel die nun stattfindende starke Electrolyse des Nerven irgendwie beantwortete. Nur wenn die Kette geöffnet wird, folgt der mächtigen Oeffnungszuckung eine Reihe tetanischer Zusammenziehungen (Ritter'scher Tetanus) von verschiedener Dauer und Stärke, je nach der Stärke und der Dauer der Einwirkung des Stromes. Beim absteigenden Strome erzeugt in der Regel anfangs auch der starke Strom Tetanus; dieser geht aber bald vorüber und ist im Allgemeinen schwächer als der durch schwächere Ströme erzeugte. Das allgemeine Gesetz, dem die tetanisirende Wirkung des constanten Stromes gehorcht, gestaltet sich demnach so: dass diese mit Strömen von äusserster Schwäche anhebt, alsdann ein Maximum erreicht und darauf nach Null zurücksinkt.

Das ist die nackte Thatsache, bei welcher ich bemerken muss, dass sie nicht etwa eine Ausnahme, sondern besonders für längere durchströmte Nervenstrecken geradezu die Regel darstellt. Doch verliert der Nerv durch längere Durchströmung mit stärkeren Strömen mehr oder weniger schnell die Fähigkeit, durch den constanten Strom in Tetanus zu gerathen, obschon er noch immer reizbar ist.

Es könnte nun der Eine oder Andere trotz der vollkommenen von uns getroffenen Vorsichtsmaassregeln den entstandenen Tetanus aus doch noch vorhandenen Unstetigkeiten der Säule oder der galvanischen Polarisation der Platindrähte ableiten wollen. Abgesehen davon, dass solche von der Säule selbst herrührende Stromesschwankungen bei starken Strömen im Kreise des Nerven stärker sein müssten, ist noch zu bemerken die constante, minutenlang unverrückt bleibende Ablenkung der Multiplicatornadel, auf welche der Zweigstrom wirkt. Denn obwohl die Nadel ihrer Trägheit halber solche rasch vor sich gehende Unstetigkeiten nicht einzeln anzuzeigen vermag, so darf man doch nicht vergessen, dass sie sich zusammensetzen müssten aus den unendlich vielen Unstetigkeiten, welche auf den unendlich vielen Punkten der Metalloberflächen stattfinden, welche die Electrolyten bespülen, wobei es mir unwahrscheinlich däucht, dass diese unendlich kleinen unendlich vielen Variationen der electromotorischen Kraft und des Widerstandes einem Incremente der Stromstärke entsprechen, das für Zeiträume, welche gegen die Schwingungsdauer der Nadel in Betracht kommen, stets gleich Null ist. Durch den Versuch prüfte ich nun, ob in dem Kreise des Nerven noch eine nachweisbare Polarisation und von welchem Zeichen vorhanden sei. Zu dem Ende schaltete ich in denselben den Museumsmultiplicator mit halber Länge ein und führte den Platinelectroden den Strom erst unter Vermittlung eines Pohl'schen Commutators zu, sodass der Strom, welcher die Nadel in constanter Ablenkung hielt, also plötzlich im Kreise des Nerven und der Platinelectroden, nicht aber im Multiplicator umgekehrt werden konnte. Legte ich so die Wippe mit mitt-

lerer Geschwindigkeit um, so blieb die Nadel unverrückt. Geschah dies aber mit der grösstmöglichen Geschwindigkeit, zu welchem Zwecke das Axenlager der Wippe fest und der Commutator an den Tisch geschraubt sein muss, so erhielt ich eine kleine positive Schwankung der Nadel, welche sich indessen selten bis zu einem Grade in den empfindlichen Breiten der Theilung belief, während unter gleichen Verhältnissen bei Kupferelectroden und concentrirter Kupfervitriollösung die Nadel eine positive Schwankung von 20° und mehr macht. Es war also in meinem Kreise immer noch eine Spur negativer Polarisation vorhanden. Da nun zunächst keine Möglichkeit abzusehen ist, wie ein Strom von grösserer Constanz jemals durch den Nerven geleitet werden könne, um so mehr als der Nerv selber polarisirbar ist, so bleibt Denjenigen, welchen die obige Auseinandersetzung gegen die Unstetigkeit des Stromes nicht wahrscheinlich genug dünkt, immer noch der Ausweg, den entstehenden Tetanus aus solchen durch die noch vorhandene Polarisation herbeigeführten Unstetigkeiten des Stromes abzuleiten und nach einer Erklärung zu suchen für die merkwürdige Thatsache, dass nicht die starken, sondern die schwachen Ströme die Tetanus erregende Fähigkeit besitzen. Jedenfalls macht man sich dann aber einer Willkür schuldig und thut den Thatsachen ohne Noth, wie mir scheint, unnatürlichen Zwang an, weshalb ich du Bois-Reymond beistimmen muss, wenn er für die Empfindungsnerven festsetzt, dass sie auf den Strom in beständiger Grösse reagiren, obschon man auch hier diese Reaction von derartigen Unstetigkeiten um so mehr hätte ableiten können, als die bezüglichen Versuche nicht ohne Vermeidung der Polarisation angestellt sind (du Bois-Reymond a. a. O. Bd. I. S. 283). Giebt man dies zu, so ordnen sich beide grosse Nervenklassen unter dasselbe Gesetz, wie sie ja auch sonst in ihrem allgemeinsten Verhalten nicht merkbar von einander verschieden sind.

In Wirklichkeit scheint mir sogar diese Vorstellung die ungleich natürlichere, weil sie ausserdem in vollkommenster Uebereinstimmung bleibt mit dem allgemeinsten Gesetze der

Reizung, demzufolge die Grösse der Erregung des Nerven abhängt von der Geschwindigkeit, mit welcher die Molekeln übergehen von einem Zustande zu dem anderen. Der constante Strom aber stellt im Nerven nur zum Theil und nur in gewisser Beziehung einen statischen Zustand her, welcher bedingt ist durch das dynamische Gleichgewicht, welches in electrischer Beziehung auf einem gegebenen Querschnitte der Strombahn im Nerven stattfindet. In Wirklichkeit ist dieses aber begleitet theils von den translatorischen, theils von den chemischen Wirkungen des Stromes. So wandern fortwährend von jedem Querschnitt des durchströmten Nerven Schaaren von Molekeln zum positiven, von jedem zum negativen Pole. Es scheint mir nun, als ob es bei Betrachtung der Wirkung des electrischen Stromes nicht erlaubt sei, von jenen durch die Electrolyse bewirkten inneren Bewegungen der Nervenmolekeln abzusehen, weil eben die Electrolyse ein unveräusserliches Attribut des Stromes ist und weil vielleicht alle Wirkung desselben nur in ihr den letzten Grund hat. Diese mit der Schliessung beginnende fortwährende Umwandlung des Nerven spricht sich ja indessen auch durch die stetig hiermit vor sich gehende Umwandlung der physiologischen Eigenschaften aus: ich erinnere an das Wachsen der Oeffnungszuckung mit der Dauer der Einwirkung des aufsteigenden Stromes, an das Anwachsen des Electrotonus während der Schliessung, an die Verschiebung des Indifferenzpunktes zwischen den Electroden, an den Ritter'schen Tetanus und die Modification der Erregbarkeit durch den constanten Strom. Warum sollten nun die Stadien der Veränderung, welche der Nerv während der Dauer des stetigen Stromes stetig durchläuft, sich nicht verknüpfen mit Erregungen des Endapparates, da diese ja von Veränderungen des Nerven abhängen, falls sie von ausreichender Grösse sind, schnell genug stattfinden und der Endapparat die ausreichende Empfindlichkeit besitzt? Soweit scheint das Verhalten klar und sogar in vollkommenster Uebereinstimmung mit dem allgemeinen Gesetze der Reizung.

Digitized by Google

Es fragt sich nun aber ferner: Warum erzeugen nur die schwachen Ströme Tetanus, und warum ist der absteigende Strom hierzu in weit höherem Maasse fähig als der aufsteigende? Ich vermag, gestützt auf die Untersuchungen über die Alteration der Erregbarkeit im electrotonischen Zustande, eine, wie ich glaube, zur Zeit genügende Aufklärung hierüber zu geben.

Mit dem Augenblicke der Schliessung eines Stromes von beliebiger Stärke durch den Nerven zerfällt, wie wir gesehen haben, die durchflossene Strecke, die uns hier hauptsächlich interessirt, stets und sofort in zwei Zonen, in deren einer die Erregbarkeit erhöht, in deren anderer sie herabgesetzt ist. Die letztere ist die Region des positiven, die erstere die des negativen Pols. Betrachtet man nun die Länge der Region herabgesetzter Erregbarkeit bei gegebener Länge der durchströmten Strecke, so ergiebt sich, dass dieselbe bei schwächsten Strömen ein Minimum ist und mit wachsender Stromstärke stetig zunimmt; es dehnt sich also mit dieser die Region der herabgesetzten Erregbarkeit immer weiter und weiter vom positiven Pole aus. Eine unmittelbare Folge hiervon ist also das entgegengesetzte Verhalten für die Region des negativen Pols. Da also bei schwächeren Strömen der bei weitem grösste Theil der durchströmten Strecke sich in einem Zustande sehr erhöhter Erregbarkeit befindet, so ist es ersichtlich, warum jetzt jene durch die Electrolyse bedingten Molecularschwankungen so leicht Tetanus erzeugen, um so mehr als ja der ausserhalb der Electroden bestehende Zustand nicht in Betracht kommt nach dem von mir für schwächere Ströme aufgestellten allgemeinen Gesetze für die Portpflanzung der Reizung durch den säulenartig polarisirten Nerven. Bei starken Strömen ist der bei weitem grösste Theil der durchströmten Strecke in seiner Erregbarkeit so ausserordentlich stark herabgesetzt, dass trotz der stärkeren Electrolyse die Reizung auf ein Minimum herabgebracht ist. Dass dies beim absteigenden Strome erst bei sehr hohen Stromeskräften und auch dann noch unvollkommener beobachtet wird, hat aber darin seinen einfachen Grund, dass die immer vorhan-

Digitized by Google

dene Region erhöhter Erregbarkeit der durchströmten Strecke unmittelbar an die sehr reizbaren Molekeln grenzt, welche vor dem absteigenden Strome liegen und willig und schnell jede Molekularschwankung nach dem Muskel hinabsenden. Beim aufsteigenden Strome hingegen müssten diese Schwankungen die gesammte Region des positiven Poles passiren, um den Muskel noch erregen zu können. Da aber bei einer gewissen Stärke der Polarisation diese Molekeln unfähig werden, die Reizung von ihren Nachbaren zu übernehmen und auf die nächst folgenden zu übertragen, so branden gleichsam jene Molekularwellen, welche von dem negativen Pole nach der Region des positiven hinanrollen, an dieser und verlöschen.

Das allgemeine Gesetz der Nervenerregung durch den electrischen Strom kann demnach sowohl für die Bewegungs- als Empfindungsnerven so ausgesprochen werden:

> Obwohl die Erregung vor Allem abhängt von den Schwankungen der Dichte des die Nerven durchfliessenden Stromes, so reagiren diese doch auch gleichwohl auf den Strom in beständiger Grösse. Während die letztere Abhängigkeit sich so gestaltet, dass die Function anfangs wächst, ein Maximum erreicht, um dann wieder abzunehmen, bleibt das genauere Gesetz der anderen Abhängigkeit vor der Hand unbekannt.

Kapitel V.

Ueber die Beziehungen der Gesetze des electrotonischen Zustandes zu dem Gesetze der Zuckung.

Wenn ich in diesem Kapitel von dem Gesetze der Zuckungen handele, so verstehe ich darunter das Ganze der Bestimmungen, „wonach sich das Erscheinen und Ausbleiben der Oeffnungs- und Schliessungszuckung je nach dem

Sinne des Stromes in dem Nerven und der Stufe der Erregbarkeit richtet". (S. du Bois-Reymond, Untersuchungen. Bd. I. p. 303 u. flgde.) Ich werde nur das Zuckungsgesetz des frischen Nerven berücksichtigen, welches mir aus meinen Untersuchungen vollkommen genau bekannt ist, während die Variationen desselben durch die Modification, Absterben, vorhergegangene Reizungen u. s. w. bis jetzt noch nicht durchgängig klar vorliegen.

Ein frisch präparirter Nerv eines Frosches, in welcher Jahreszeit auch der Versuch angestellt werde, befindet sich allemal und ohne Ausnahme auf der ersten Stufe der Erregbarkeit, wenn man nur nicht zu nahe an den Querschnitt herangeht. Das Uebergehen zu den höheren Stufen geschieht von selbst durchaus nicht so leicht und schnell, wie Diejenigen annehmen, die wegen mangelhafter Bedingungen an frischen Nerven keine constanten Erscheinungen wahrzunehmen vermochten. Das Zuckungsgesetz ist am frischen Nerven eine Funktion der Stromstärke, und es ist deshalb ganz in die Willkür des Beobachters gestellt, nach Belieben das eine oder andere zu sehen. Ich unterscheide drei Stromstärken und gebe für diese folgendes Schema, afs mein Gesetz der Zuckungen für den frischen Nerven:

Das Gesetz der Zuckung.

Stromstärke.	Aufsteigender Strom.	Absteigender Strom.
Schwacher Strom	S. Zuckung O. Ruhe	S. Zuckung O. Ruhe
Mittelstarker Strom	S. Zuckung O. Zuckung	S. Zuckung O. Zuckung
Starker Strom	S. Ruhe O. Zuckung	S. Zuckung O. Schwache Zuckung (?)

Digitized by Google

Die Buchstaben S und O bedeuten Schliessung und Oeffnung.

Dieses Gesetz ist durch Reizung des Nerven allein gewonnen; d. h. es befanden sich die Muskeln niemals mit im Kreise, sondern blieben stets vom Strome durchaus unberührt, was für einen Erweis des Zuckungsgesetzes für den Nerven natürlich durchaus nothwendig ist.

Man bemerke nun wohl den Sinn dieses Gesetzes. Ich behaupte, dass jeder Nerv, durch einen starken aufsteigenden Strom erregt (6 Grove), niemals Schliessungszuckung giebt, sondern nur Oeffnungszuckung, so frisch er auch sein mag. Derselbe Nerv würde nur Schliessungs- und keine Spur von Oeffnungszuckung gegeben haben, wenn der Strom schwach genug gewesen wäre. Hiervon giebt es gar keine Ausnahme. Ein zwischen beiden Stromstärken gelegener Werth des aufsteigenden Stromes giebt Schliessungs- und Oeffnungszuckung. Also das Nichterscheinen der Schliessungszuckung bei starkem aufsteigenden Strome hat nicht in einer Modification ihren Grund, wie der letzte Forscher glaubte, welcher das Gebiet bearbeitet hat. Ich spreche, wohl bemerkt, nur von ganz frischen Nerven. — Beim absteigenden Strome ist die Schliessungszuckung bei allen Stromstärken über die Oeffnungszuk-überwiegend, so lange man nur am tieferen Theile des Ischiadicus bleibt, wohin die durch das Absterben bedingten Störungen nicht so bald vorschreiten. Unter Umständen erscheint wohl ausnahmsweise die Oeffnungszuckung bei schwachen Strömen eher, als die Schliessungszuckung. Doch halte ich dies nicht mehr für Regel.

Mit Bezug auf die Reihenfolge, in welcher bei wachsender Stromstärke die Zuckungen erscheinen, habe ich zu erwähnen:

1) Schliessungszuckung des aufsteigenden Stromes,
2) Schliessungszuckung des absteigenden Stromes,
3) Oeffnungszuckung des absteigenden Stromes,
4) Oeffnungszuckung des aufsteigenden Stromes.

Das ist, nach meinen Untersuchungen und Auffassungen,

das ächte und wahre Gesetz der Zuckung, über welches so viel hin und her gestritten worden ist.

Versuchen wir jetzt zu prüfen, ob in der That gewisse Beziehungen zwischen ihm und den electrotonischen Veränderungen vorhanden sind. Dies ist nun meines Erachtens ganz unverkennbar. Es ist mit einem Worte klar, dass der von den katelectrotonisirten Strecken beobachtete Zuwachs der Zuckung, als Funktion der Stromstärke betrachtet, genau dasselbe Gesetz befolgt, wie die Schliessungszuckung, sei es nun, dass der Strom aufsteigend, sei es, dass er absteigend sei. Wie nämlich der oberhalb des aufsteigenden Stromes ausgelöste Zuwachs mit wachsendem Strome wächst, ein Maximum erreicht, zum alten Werthe zurückkehrt, um endlich zu verschwinden, genau so verhält es sich mit der Schliessungszuckung. Soviel ich ungefähr gesehen habe, stimmen auch die verschiedenen ausgezeichneten Punkte der Curven insofern überein, als sie nahe denselben Abscissenwerth haben.

Ich stehe somit nicht an, sofort folgende Theorie des Gesetzes der Zuckung aufzustellen, die zwar zum Theil noch hypothetisch, zum grössten aber theils direct erwiesen, theils äusserst wahrscheinlich gemacht werden kann. Die Mechanik, auf der das Gesetz der Zuckung basirt, heisst demnach:

> Erregt wird eine gegebene Nervenstrecke durch das Entstehen des Katelectrotonus und das Verschwinden des Anelectrotonus, nicht aber durch das Verschwinden des Katelectrotonus und das Entstehen des Anelectrotonus.

Das Zuckungsgesetz fliesst hieraus unter Zuhülfenahme der von uns ermittelten Thatsachen als einfache Consequenz.

Beginnen wir mit dem aufsteigenden Strom. — Warum giebt der schwächste aufsteigende Strom Schliessungszuckung, der stärkste aber nicht? — Die Reizung ist bei allen Stromstärken zum Theil oberhalb des aufsteigenden Stromes, da, wo der Katelectrotonus Platz greift. Jede Reizung oberhalb

Digitized by Google

eines aufsteigenden Stromes geht aber leicht nach dem Muskel hinab, wenn der polarisirende Strom eine gewisse Stärke nicht überschreitet, wo er die Leitungsfähigkeit des Nerven nicht merkbar beeinträchtigt. Jede Reizung muss also Zukkung erzeugen. Sobald aber die Stromstärke diese gewisse Stärke überschreitet, so verliert der Nerv augenblicklich bei der Schliessung auf allen Strecken, die der Anelectrotonus befällt, in einem nicht allein merkbaren, sondern sehr hohen Grade die Fähigkeit, die Reizung zu leiten. Wenn also auch immerhin bei jeder Stromstärke mit der Schliessung die katelectrotonisirten Strecken durch den aufsteigenden Strom heftig gereizt werden mögen, so vermag sich diese Reizung doch nicht dem Muskel mitzutheilen, welcher deshalb ganz ruhig bleibt. Hiermit ist das Verhalten der Schliessungszuckung für den aufsteigenden Strom abgeleitet. Man kann kaum behaupten, dass an dieser Ableitung etwas Hypothetisches sei. Denn wenn der Anelectrotonus, der, wie wir sahen, wohl nahe so schnell wie die Reizung sich über den Nerven fortpflanzt, den Muskel zur Zuckung zu bestimmen vermöchte, so müsste doch eine recht kräftige Zuckung bei der Schliessung eines starken aufsteigenden Stromes stattfinden, da ein starker Anelectrotonus die intramuscularen Fasern plötzlich befällt. Aber der Muskel ist ganz ruhig; denn weder er noch der unterhalb der positiven Electrode gelegene Theil des Nerven sind in dem Zustande der Reizung gewesen. Hieraus wird es nun doch offenbar in hohem Grade wahrscheinlich, dass, wenn der starke Anelectrotonus, welcher eine Nervenstrecke befällt, diese nicht zu erregen vermag, der schwache es noch weit weniger im Stande ist. Ich glaube kaum, dass ein Zweifel an der Richtigkeit dieser Betrachtung obwalten kann.

Wenden wir uns nunmehr zur Betrachtung der Schliessungszuckung des absteigenden Stromes. Nichts verhindert den Reiz, hier aus dem Bereiche des Katelectrotonus sofort nach dem Muskel zu gelangen. Denn der Katelectrotonus grenzt ja unmittelbar an denselben. Mit wachsender Stromstärke wächst der Katelectrotonus und mithin auch die Schlies-

Digitized by Google

sungszuckung. Hier muss der schwache Strom genau das thun, was der starke. Fragen wir uns nun ferner, bei Vergleichung der Schliessungszuckung des aufsteigenden mit der des absteigenden Stromes, warum der aufsteigende bereits bei geringeren Stromstärken dieselbe hervorbringt, als der absteigende. Auch dies ist eine nothwendige Consequenz meiner Theorie. Denn schliesse ich den aufsteigenden Strom, so verfällt die obere Hälfte des Ischiadicus in den Zustand der Reizung; schliesse ich den absteigenden Strom, so ist es mit der unteren Hälfte der Fall. Da nun Reizung der von dem Muskel weiter entfernten Strecken bedeutend wirksamer ist, als solcher, die ihm näher sind, so muss das bezeichnete Verhalten stattfinden. Dies ist ja bekanntlich gemäss dem von mir aufgestellten Gesetz, welches oben ausführlich dargelegt worden ist. Hiermit wäre denn das Zuckungsgesetz für die Schliessungszuckung aus unserer Theorie abgeleitet.

Wenden wir uns nunmehr zur Erörterung der Oeffnungszuckung. Am frischen Nerven giebt fast jede Stromstärke bei jeder Stromesrichtung die Oeffnungszuckung. Es zeigt sich aber ganz regelmässig, dass bei schwächsten Strömen der absteigende eher als der aufsteigende dieselbe hervorbringt. Auch dies ist vollkommen klar. Denn bei Oeffnung des absteigenden Stromes befindet sich die obere, bei Oeffnung des aufsteigenden die untere Nervenhälfte in dem Zustande der Reizung. Es muss also die Oeffnung des Stromes, wenn er absteigend fliesst, wirksamer sein, als wenn er aufsteigend durch den Nerven geleitet worden ist. Es bleibt uns aber ferner das Wachsen der Oeffnungszuckung mit dem Wachsen des aufsteigenden Stromes und die später erfolgende Abnahme mit dem Wachsen des absteigenden zu erklären Dass mit zunehmendem Anelectrotonus, den der aufsteigende Strom erzeugt hat, die bereits vorhandene Oeffnungszuckung wächst, ist klar. Dies muss eben darum um so mehr stattfinden, als der Anelectrotonus auf einem Punkte bei der Oeffnung rasch in die gewaltige positive Modification übergeht, weshalb die von oben nach dem Muskel herabkommenden Innervationen

leicht nach demselben hinabgeleitet werden. Wie ist es aber mit dem Anelectrotonus, den der absteigende Strom hervorbringt? Die durch sein Verschwinden bedingte starke Reizung hat die intrapolare Strecke und sodann die Strecken, auf welchen der Katelectrotonus eben verschwunden ist, zu passiren. Diese Strecken aber befinden sich jetzt in negativer Modification, sind also unerregbar und streben die Reizung zu verlöschen, sodass sie geschwächt oder gar nicht nach dem Muskel hinabgeht. Wir machen also hier noch die Voraussetzung, dass bei schwachen Strömen durch die Modification die Leitungsfähigkeit nicht merkbar beeinflusst wird, wohl aber bei starken, ganz analog, wie es sich bei den Veränderungen während der Stromesdauer herausgestellt hat. Zur thatsächlichen weiteren Begründung meiner Anschauung berufe ich mich darauf, dass wir ja fanden, wie bei jeder Richtung eines starken polarisirenden Stromes, der etwas länger auf den Nerven eingewirkt hat, jede Reizung oberhalb oder innerhalb der intrapolaren Strecke sehr bedeutend geschwächt oder unwirksam gemacht wird. Ferner scheint es, als müsse doch der starke absteigende, dicht vor dem Muskel durch den Nerven fliessende Strom bei seiner Oeffnung kräftige Zuckung auslösen, wenn das Verschwinden des Katelectrotonus mit Reizung des Nerven verknüpft wäre. Soweit scheint mir denn unsere Anschauung in guter Uebereinstimmung mit den Thatsachen. Doch sind wir noch nicht zu Ende. Aus unserer Theorie lassen sich noch einige Thatsachen von erheblicher Wichtigkeit ableiten. Wir sehen, dass das Erscheinen des Katelectrotonus im Allgemeinen den Nerven mehr erregt, als das Verschwinden des Anelectrotonus. Denn die Schliessung eines beliebig gerichteten schwachen Stromes, der eben die **Leitungsfähigkeit** nicht beeinträchtigt, ist ja wirksamer als die Oeffnung eines beliebig gerichteten. Wir fanden nun, dass die Differenz der Stromstärken, welche nothwendig ist, damit sich zur Schliessungszuckung des absteigenden Stromes noch die Oeffnungszuckung geselle, ganz ausserodentlich viel kleiner als beim aufsteigenden Strome

Digitized by Google

ist. Auch dies scheint mir, ja sogar das frühere Erscheinen der Oeffnungszuckung vor der Schliessungszuckung bei absteigendem Strome sehr wohl mit unserer Theorie in Einklang zu bringen zu sein. Dass der aufsteigende Strom bei geringeren Stromstärken die Schliessungszuckung giebt, bei höheren erst die Oeffnungszuckung, ist einfach. Denn selbst wenn das Verschwinden des Anelectrotonus den Nerven gleich stark erregt, wie das Erscheinen des Katelectrotonus, so müsste doch der aufsteigende Strom bei ausreichender Schwäche schliesslich nur Schliessungszuckung geben. Denn bei der Schliessung ist die Reizung in der oberen, bei der Oeffnung in der unteren Nervenhälfte. In der That aber scheint das Verschwinden des Anelectrotonus den Nerven nicht so stark zu erregen, wie das Erscheinen des Katelectrotonus. Es muss mithin das beobachtete Gesetz für den aufsteigenden Strom a fortiori gelten. Wie ist die Sache nun für den absteigenden Strom? Hier sind zwei Momente, welche das gleichzeitige Erscheinen der Zuckungen bei Schliessung und Oeffnung des Stromes zu begünstigen streben. Weil nämlich bei der Schliessung die Reizung in der unteren Nervenhälfte, bei der Oeffnung in der oberen sich befindet, so müsste die Oeffnungszuckung eher erscheinen als die Schliessungszuckung, wie es denn auch in der That mitunter, aber nicht als Regel beobachtet wird. Da aber das Entstehen des Katelectrotonus ein stärkerer Reiz ist, als das Vergehen des Anelectrotonus, so müsste die Schliessungszuckung eher als die Oeffnungszuckung erscheinen. Letzteres ist gewöhnlich der Fall. Es sind hier mithin zwei Momente vorhanden, welche sich entgegenwirken und je nach ihren relativen Verhältnissen das Gesetz bedingen.

Die auffallende Uebereinstimmung der Thatsachen mit der Theorie scheint mir eine Bürgschaft dafür, dass hier im Wesentlichen eine allgemeine Grundlage für ein späteres feineres Verständniss des Zuckungsgesetzes geliefert ist. Ich bin nur dem nachgekommen, habe das weiter geführt, was der grosse Ritter schon früh sagte, dass die Zuckung her-

Digitized by

rühre von dem Erscheinen eines veränderten Zustandes im Nerven, oder von seinem Verschwinden. Ich habe nun diese veränderten Zustände studirt in ihrem Kommen und Gehen und glaube sie deshalb mit Recht mit dem Gesetze der Zuckung in Verbindung bringen zu müssen. Wenn auch manches Hypothetische noch meiner Theorie anhaftet, so kann sie doch vor der Hand dazu dienen, künftigen Forschern leitender Gedanke zu sein. — Ich schliesse hiermit die Untersuchung.

Digitized by Google

IV.

Theorie der inneren Mechanik des Nerven.

Theorie der inneren Mechanik des Nerven.

Vergegenwärtigen wir uns nochmals vor Erörterung der theoretischen Fragen den allgemeinen Kreis von Thatsachen, welche in dieser Arbeit dargestellt worden sind. Die leichteste Uebersicht können wir durch Betrachtung der Curven erlangen, welche in Fig. 18 aufgezeichnet stehen. Ich habe hier diese Curven der veränderten Erregbarkeit im electrotonischen Zustande entworfen, indem ich auf den Nerven (NN) als Abscisse die Zunahme der Erregbarkeit als positive, die Abnahme als negative Ordinaten auftrug. A stellt den Punkt vor, wo der Strom eintritt, B denjenigen, wo er austritt. An welchem Ende von NN der Muskel befindlich sei, is ja gleichgültig. Man sieht drei Curven gezogen, davon die mit den niedrigsten Ordinaten (y_1 y_1) diejenige ist, welche den geringsten Stromstärken entspricht. Ihr Indifferenzpunkt liegt dicht am positiven Pole. Die zweite Curve (y_2 y_2) ist diejenige, welche nach Lage der Aeste und Ordinatenhöhe der mittleren Stromstärke zukommt. Ihr Indifferenzpunkt halbirt die intrapolare Strecke. Die stärksten Ströme endlich bestimmen die Lage der Curve (y_3 y_3). Ihre Ordinaten sind auf den extrapolaren Strecken höher als die der anderen Curven und ihr Indifferenzpunkt ist dicht an die Kathode gerückt. — Bei längeren intrapolaren Strecken liegen diese Curven ebenso; nur wachsen die Ordinaten sämmtlich.

Betrachten wir die Ordinaten als Linien, welche dem Zuckungszuwachs proportional sein sollen, und abstrahiren wir von jenem Ausnahmefalle bei Reizung oberhalb des aufsteigenden Stromes, so geben unsere Curven reine Thatsachen wieder. Sobald wir aber — und das habe ich stets im Auge behalten — die Ordinaten als dem Erregbarkeitszuwachse der gereizten Stelle proportional ansehen, stehen wir bereits nicht mehr unmittelbar auf dem Boden der Erfahrung. Wenn nämlich eine gegebene Nervenstelle erregt wird, so kann offenbar im Allgemeinen aus dem Erfolge am zuckenden Muskel nicht so ohne weiteres geschlossen werden auf die Erregbarkeit der unmittelbar vom Reize betroffenen Stelle. Denn ehe die Reizung von dieser aus nach dem Muskel gelangt, hat sie ja erst eine Schaar von Molekeln zu durcheilen, welche dieselbe natürlich auf das Mannigfachste und zwar nach jeder Richtung quantitativ verändern können. Diese Betrachtung ist so einleuchtend, so natürlich, dass wir sie gar nicht machen würden, wenn nicht bei diesen Untersuchungen sich gerade das merkwürdige Resultat ergeben hätte, dass man in der That bei Erregung einer gegebenen Nervenstrecke dennoch bis zu einem gewissen sehr ausgedehnten Grade berechtigt ist, den am Muskel beobachteten Erfolg aus dem Zustande der unmittelbar gereizten Stelle abzuleiten. Denn wir haben gefunden, dass die Quantität der Reizung, welche nach Erregung einer gegebenen electrotonisirten Strecke an beiden Enden des Nerven anlangt, stets gleich gross ist. Wir dürfen uns der Uebersichtlichkeit halber wenigstens die Thatsachen so vorstellen. Man denke sich demnach an den beiden Nervenenden (s. Fig. 19) zwei Muskeln (m, m) angewachsen und zwischen beiden genau in der Mitte die Reizung (R) angebracht, damit sie in gleicher Entfernung von beiden Muskeln darum stets gleich stark diese errege. Darauf leite man einen constanten Strom (C) durch den Nerven. An welcher Stelle es auch immer sei, welche Richtung er auch immer habe und welche Entfernung von dem einen oder anderen Muskel ihm zukomme, der Zuckungszuwachs, welcher bei Reizung derselben früheren Stelle auf dieselbe frühere Weise beobachtet

Digitized by Google

wird, ist bei beiden Muskeln absolut derselbe. Er variirt zwar, aber diese Variation hängt nur davon ab, ob der gereizte Punkt vor oder hinter dem Strome liegt nnd um wie viel dies der Fall ist. Wie der Punkt zum Muskel gelegen, welche Molekeln also zwischen ihm und Muskel uud in wel-Zustande sich diese befinden mögen, ist für den Erfolg durchaus gleichgültig. Denn die Reihe von Molekeln, welche die Reizung nach dem einen Muskel fortleitet, ist ja in ganz anderen Zuständen, als diejenige, welche sie dem anderen Muskel überbringt. Dieses Gesetz ist ganz allgemein. Daraus geht nun offenbar hervor, dass diejenige Nervenstelle, welche sich bei directen äusseren Reizen so verändert zeigt, dennoch die einmal ausgelöste Reizung genau mit derselben Intensität fortpflanzt, als ob sie sich in dem natürlichen Zustande befände. Aus diesem Grunde werden wir aus dem Erfolge am Muskel direct auf den Zustand der unmittelbar gereizten Stelle schliessen dürfen.

Alles Gesagte gilt indessen nur, solange die Stromstärke, welche die veränderte Erregbarkeit hervorgebracht hat, eine gewisse, bereits recht beträchtliche Grösse nicht überschreitet. Findet dies aber Statt, dann tritt dasjenige ein, was man eben a priori zu erwarten geneigt war — es verliert der Nerv nicht allein die directe Reizbarkeit auf der anelectrotonisirten Strecke, sondern auch die Leitungsfähigkeit. Dass dies so sei, schliesse ich aus dem Verhalten des Reizbarkeitszuwachses oberhalb des aufsteigenden Stromes. Er ist bekanntlich anfangs bei schwachen polarisirenden Strömen positiv und wird dann bei stärkeren negativ. Die Gründe, welche ich hierfür beibringen kann, sind folgende. Es würde erstens, bei der Annahme, dass der Erfolg am Muskel den Zustand der gereizten Stelle auch jetzt noch bezeichnete, also eine Stromstärke geben, bei welcher oberhalb des aufsteigenden Stromes die Erregbarkeit gar nicht verändert wäre, während sie in der intrapolaren Strecke, sowie zwischen dieser und Muskel entschieden alterirt ist. Hier giebt es zur Lösung der Paradoxie keinen ähnlichen Ausweg wie bei der Untersuchung der totalen Erregbarkeit der intrapolaren Strecke. Denn diese zeigt

sich bei jeder Lage der reizenden Electroden oberhalb des starken aufsteigenden Stromes nicht merkbar verschieden. Wollte man sich aber auch in diese Paradoxie finden, so würde zweitens folgender entschiedene Widerspruch sich ergeben. Wie wir gefunden haben, wächst sonst unter allen Verhältnissen der absolut genommene Erregbarkeitszuwachs mit dem electromotorischen Zuwachs stetig an, wenn es die Stromstärke thut. Wir haben ferner eine so grosse Reihe der tiefsten Uebereinstimmungen zwischen den electromotorischen und Erregbarkeitsveränderungen aufgefunden, dass es die Skepsis über alle Gebühr ausdehnen hiesse, wenn man daran glauben wollte, dass beide Functionen durch eine prästabilirte Harmonie eine so merkwürdige, so auffallende Congruenz darbieten sollten. Während also in allen anderen Fällen der Zuwachs der Erregbarkeit dem electromotorischen Zuwachse proportional ist, sollte ein Fall existiren, wo der Erregbarkeitszuwachs absolut gleich Null wäre, obgleich der electromotorische Zuwachs eine beträchtliche endliche Grösse hätte. Denn wir wissen ja, dass auf den extrapolaren Strecken der electromotorische Zuwachs dem polarisirenden Strome stets proportional ist, mag der Strom auf- oder absteigend, die abgeleitete ober- oder unterhalb desselben befindlich sein. Dieser zweite Grund scheint mir nun von erheblichem Gewichte. Ich füge demselben endlich noch einen dritten zu.

Du Bois-Reymond hat den Beweis geliefert, dass sich am Nerven kein Unterschied darstellt, in Bezug auf die Leitung des Electrotonus und der Reizung in beiden Richtungen. Nicht merkbar verschieden pflanzen sich beide Zustände von einem erregten Querschnitte aus mit merkbar derselben Leichtigkeit in centripetaler oder centrifugaler Richtung sowohl im motorischen wie sensiblen Nerven fort. Hier würde nun der räthselhafte Umstand eintreten, dass während der Katelectrotonus beim absteigenden beliebig starken Strome stets dasselbe Zeichen des Zuckungszuwachses bedingt, beim aufsteigenden Katelectrotonus ein ganz anderes Verhalten Platz griffe. Wir müssten dann ganz entschieden einen bedeutenden Unterschied annehmen zwischen der centripetalen

Digitized by

und centrifugalen Richtung der motorischen Nervenfaser. Niemand wird bei dem jetzigen Stande der Kenntnisse dieser Ansicht beipflichten wollen, womit wir also gezwungen sind in der That zuzugeben, dass bei einer gewissen Stärke des polarisirenden Stromes der Nerv die Leitungsfähigkeit für die Reizung in erheblichem Maasse verliert.

Was den Betrachtungen, die wir hier dargelegt haben, eine grössere Stärke verleiht, ist der Umstand, dass der zu erweisende Satz noch einer directen experimentellen Prüfung fähig ist, welche ich leider bis jetzt noch nicht habe vornehmen können. Man müsste die motorischen Wurzeln mit Längs- und Querschnitt den Bäuschen für den grossen Multiplicator anlegen, durch den Ischiadicus einen starken aufsteigenden Strom leiten, welcher negativen Zuckungszuwachs bei Reizung oberhalb desselben bedingt. Sobald die Nadel unter dem Einflusse der negativen Phase und des ursprünglichen Stromes zur Ruhe gekommen, müsste dann ein tetanisirender Strom oberhalb der negativen Electrode den Nerven durchsetzen. Unzweifelhaft würde nun die Nadel im entgegengesetzten Sinne zum ursprünglichen Nervenstrome, also im Sinne der säulenartigen Polarisation abgelenkt werden, während der Muskel ruhig bliebe.

So scheint es mir denn, als ob es nicht länger zweifelhaft sein könne, dass oberhalb des aufsteigenden Stromes die Erregbarkeit stets erhöht ist, welches auch die Stärke desselben sein mag und es nur darum nicht scheint, weil die anelectrotonische Zone jeder Reizung den Durchgang nach dem Muskel verwehrt.

Man wird jetzt auch das Verhalten der Curven verstehen, welche für verschiedene intrapolare Längen den katelectrotonischen Zuckungszuwachs als Function der Stärke des aufsteigenden polarisirenden Stromes darstellen. Wir fanden ja, dass die Curven ihr positives Maximum um so eher erreichen und um so eher die Abscisse schneiden, je länger die intrapolare Strecke war. Der Grund von diesem auf den ersten Blick eigenthümlichen Verhalten ist indessen nicht schwer zu übersehen. Wir wurden soeben zu der Wahrheit

geführt, dass bei einer gewissen Stärke der Polarisation die Molekeln im Bereiche des Anelectrotonus die Fähigkeit, die Reizung zu leiten, in merkbarem Grade einbüssen, d. h. der Fortpflanzung der Reizung einen gewissen Widerstand entgegensetzen, sie also schwächen. Wenn nun in der intrapolaren Strecke diejenige Stromstärke Platz gegriffen hat, bei welchem die anelectrotonisirten Molekeln die Reizung zu schwächen anfangen, so ist es klar, dass die Schwächung um so grösser sein muss, je länger die Strecke ist, welche die Reizung zu passiren hat. Denn mit wachsender Länge werden ja mehr Widerstände eingeschaltet. Sobald nun mit wachsender Stromstärke die durch die Leitung auf den anelectrotonisirten Strecken herbeigeführte Abnahme der Reizung gleich geworden ist der Zunahme, welche sie auf den erregten katelectrotonisirten Stellen erfuhr, so muss nothwendig der Zuckungszuwachs der Null gleich sein. Da nun mit wachsender Stromstärke und Länge auch der katelectrotonische Erregbarkeitszuwachs wächst, gleichwohl aber der Zukkungszuwachs abnimmt, so muss ferner der Zuwachs, den jetzt die Reizung oberhalb des aufsteigenden Stromes erfährt, kleiner sein als die Abnahme, welche die Leitung durch die anelectrotonisirten Strecken nothwendig bedingt. In diesem Sinne bleiben die Thatsachen unter sich und mit den bekannten der Electrophysiologie in vollendetem Einklange und ich werde deshalb nunmehr von diesen ausgehen, um der inneren Mechanik des Nerven, welche diese Gesetze bedingt, unsere Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Die Thatsachen sagen, dass im Bereiche des Anelectrotonus die Erregbarkeit herabgesetzt, im Bereiche des Katelectrotonus erhöht sei. Zwischen den Polen geht der eine in den anderen Zustand stetig über und diese Uebergangsstelle liegt um so mehr vom positiven Pole entfernt, je stärker der Strom ist, oder je länger ein gegebener Strom gedauert hat. Warum ist dies so? Um darauf zu antworten, müssten wir ferner erst die Frage beantworten: Was ist die moleculare Definition der Erregbarkeit, was die der Reizung? Wir kennen sie nicht und werden sie noch lange nicht er-

fahren. Denn sie sind die Endprobleme der allgemeinen Physiologie der Nervenfaser. So ziehe ich es deshalb vor, mich an der Thatsache als Fundamentalphänomen vor der Hand zu begnügen, da wenigstens so viel gesagt werden kann, dass es ausserordentlich viele denkbare Arten giebt, wie man bei Angriff einer Kraft auf einen gegebenen Theil einer Molekelcombination einen grösseren Erfolg bedingt, als wenn dieselbe Kraft einen anderen Theil dieser Combination angreift. Ich spreche hier nur von der Reizung in der unmittelbar ergriffenen Stelle, nicht von der Fortpflanzung derselben, die wir nachher erörtern wollen. Mit Bezug auf den Einfluss der Länge lässt sich, so scheint es mir, keine unmittelbare Folgerung ziehen, weil weder aus du Bois-Reymond's noch aus meinen Untersuchungen ersichtlich, ob die Curven mit wachsender Länge wirklich auf allen Punkten an Höhe zunehmen, oder ob dies scheinbar ist, weil sie nur einfach bei gleichbleibender Ordinatenhöhe sich im Sinne der Abscisse strecken oder verschieben.

Es bleibt uns mithin nun noch die fernere Aufgabe, zu erklären, wie es komme, dass dieselben Molekeln, welche beträchtlich verändert erscheinen bei directer Reizung, doch diese, wenn sie einmal anderweitig ausgelöst ist, ebenso gut fortpflanzen, als ob sie im natürlichen Zustande befindlich wären. Man kommt natürlich leicht über alle Schwierigkeiten fort, wenn man im motorischen Nerven zwei Fähigkeiten unterscheidet, nämlich die directe Reizbarkeit einer Stelle und dann ihre Leitungsfähigkeit. Stellt man sich dann vor, dass der Strom beide Eigenschaften in gleichem Sinne verändere, nur anfangs bei geringer Stärke die Leitungsfähigkeit viel weniger als die directe Reizbarkeit, während bei höheren Stromstärken wieder beide Functionen näher rücken, so erklärt sich Alles ganz einfach. Dies scheint mir nun aber eine ziemlich unbefriedigende Lösung des Problems, da es schwer ist, sich zu denken, dass in der direct gereizten Stelle etwas total anders vor sich gehe, als in denjenigen, welche die Reizung leiten. Es ist mir vielmehr durchaus wahrscheinlich, dass die direct gereizte Nervenstelle genau in dieselben Zu-

stände verfällt, wie die indirect gereizte, sodass man also nicht zwischen zwei wesentlich verschiedenen Vorgängen im motorischen Nerven unterscheiden darf. Die Erklärung des allgemeinen in Frage stehenden Gesetzes basirt nun offenbar auf nichts Geringerem als auf der Vorstellung, die wir uns von dem eigentlichen Wesen des Nervenprincipes machen, welches wir deshalb jetzt einer genaueren Discussion unterwerfen wollen.

Die Erklärung des Nervenprincips führt auf zwei Möglichkeiten. Entweder schreitet ein erregtes unbekanntes Agens oder Fluidum, welches gleichsam der gereizten Stelle entlockt wird, örtlich vor, um nach dem Muskel hinabzueilen. Es sind dies die thierischen Geister der Alten, die wir nunmehr allgemein verlassen haben. Oder es bewegt sich irgend eine Veränderung durch die Materie des Nerven fort, also eine Welle im weiteren Sinne. Unter den in der Natur vorhandenen Wellenbewegungen kann man zwei Arten unterscheiden. Bei der einen Art gestalten sich die Verhältnisse so, dass in einer gegebenen Zeit, nachdem das erste Atom in Bewegung versetzt worden ist, die Summe der in dem System vorhandenen lebendigen Kräfte ungeändert dieselbe geblieben ist, weil nur einfach ein Atom seine Bewegung auf das andere übertrug. In diese Kategorie gehört die Verbreitung des Lichtes, des Schalles, der strahlenden und geleiteten Wärme, der Fortpflanzung eines mechanischen Stosses und dergleichen mehr. Die zweite Klasse von Wellenbewegungen ist dadurch charakterisirt, dass die erste Molekelcombination die zweite in Umstände bringt, durch welche eine Entleerung der in der zweiten Molekelcombination vorhandenen „Spannkräfte“ möglich gemacht wird. Hier braucht die lebendige Kraft, welche im Systeme eine gegebene Zeit nach dem ersten Anstoss vorhanden ist, der anfänglichen durchaus nicht gleich zu sein, sondern sie kann dieselbe beliebig übertreffen. Es werden also durch die von einem Punkte vorschreitende Bewegung Kräfte auf allen Punkten des Raumes ausgelöst, über welche sich dieselbe auszubreiten strebt. Unter diesen beiden möglichen Bewegungsformen muss ich mich für die zweite

Digitized by Google

entscheiden, als diejenige, welche fast unzweifelhaft die eigentliche Basis für die dereinstige vollendete Molecularhypothese des Nerven bilden wird.

Ich will nun den Versuch machen, diese Behauptungen zu begründen. Es giebt, um zunächst zu unserem alten Problem zurückzukehren, eine sehr nahe liegende Möglichkeit, wie eine und dieselbe Kraft, welche eine gegebene Combination von Naturkörpern an irgend einem Punkte angreift, verschieden grosse Erfolge erzielt, sei es, dass sie stets gegen dieselbe Stelle der Combination gerichtet sei oder an verschiedenen Punkten nach einander angreife. Diese Möglichkeit besteht darin, dass die Richtung der Kraft variirt. Denken wir uns z. B. einen Vertikalkreis aus Metall, in dessen Ebene in der Mitte eine Magnetnadel aufgehängt ist. Es sei ferner dieser Vertikalkreis um seinen senkrechten Durchmesser drehbar. Stellen wir uns nun den Kreis von einem electrischen Strome durchflossen vor, so wird es zwei Lagen des Kreises geben, bei welchen die Wirkung des Stromes auf die Nadel gleich Null ist. Bei diesen Lagen fällt die Kreisebene mit dem magnetischen Aequator zusammen. Bei der einen Lage des Kreises in dieser Ebene ist die Nadel in labilem, bei der anderen Lage in stabilem Gleichgewicht. Sobald aber die Kreisebene mit der Ebene des magnetischen Meridianes irgend einen Winkel bildet, welcher nicht genau einem Rechten gleich ist, kann kein Gleichgewicht der Nadel mehr stattfinden. Aus diesem Grunde nun habe ich den Strom unter jedem möglichen Winkel zur Primitivfaser in den Nerven geleitet, weil zu erwarten war, dass die auf die Faser senkrechte Strömungsrichtung sich vielleicht wirksam erweisen würde, obgleich die ihr parallele ihre Wirkung verloren hatte. Wir fanden aber, dass dem nicht so sei; sondern eine katelectrotonische Stelle erwies sich reizbarer als sonst, welches auch der Winkel war, den der Strom mit der Faser bildete, sowie die anelectrotonisirte sich stets weniger erregbar zeigte. Dies ist ein Grund. Der zweite aber entspringt aus folgender Betrachtung: Es müsste auf den katelectrotonisirten Strecken das Molekel eine Lage haben, dass die wirksam werdende

Digitized by Google

Stromcomponente ein Maximum, an den anelectrotonisirten eine solche, dass sie ein Minimum wäre. Die Kraftcomponente des constanten Stromes müsste also am positiven Pole eine andere Richtung haben, als am negativen. Hieraus würde dann folgen, dass immer nur die Wirkung eines Poles des reizenden Stromes bei dem einen oder andern Zustand wirkungslos sein könnte, während der andere stets wirksam bleiben müsste. Nur also, wenn die Molecularordnung vor und hinter dem Strome dieselbe wäre, könnte unsere betrachtete Hypothese bestehen bleiben und würde dann wirklich recht elegant die Thatsachen erklären. Da das nun aber nicht der Fall ist, so ist sie insufficient. Hierzu kommt dann noch ein dritter Grund, der nämlich auf den Erfolgen bei der chemischen Reizung basirt. Hier könnte man sich in der That doch nur sehr schwer vorstellen, dass die hierdurch erzeugten Molecularbewegungen stets von Kräften ausgingen, welche dieselben Richtungen haben, wie diejenigen, welche der Strom ausübt. Ich stehe demnach nicht an, zu behaupten, dass jene Erregbarkeitsänderungen nicht ihren Grund haben können in einer durch Lageveränderung der Molekeln herbeigeführten Verringerung oder Vermehrung der wirksam werdenden Componente der äusseren den Nerven angreifenden Kräfte. Wenn sich nun auch noch andere Möglichkeiten denken liessen, durch welche unser Gesetz aus der Annahme von Schwingungen zur Noth abgeleitet werden könnte, so füge ich doch einen neuen und zwar den wichtigsten Grund hier weiter hinzu, welcher ebenfalls die Annahme entschieden zurückweist, dass das Nervenprincip als eine Vibration betrachtet werden könne. Dieser Grund basirt auf dem von mir aufgestellten Gesetze, wonach die Reizung lawinenartig anschwillt, wenn sich dieselbe über grössere Nervenstrecken ausbreitet. Wir haben oben gesehen, dass die Zuckung um so stärker ist, je weiter die gereizte Stelle vom Muskel entfernt war, und haben uns aus sogleich etwas näher zu erörterndem Grunde der so eben angegebenen Erklärung angeschlossen. Entweder ist nämlich die Erregbarkeit des Nerven um so grösser, je weiter die gegebene Nervenstelle vom Mus-

Digitized by Google

kel entfernt ist, oder die Erregbarkeit ist auf allen Punkten dieselbe und schwillt nur bei der Fortpflanzung an.

Die Versuche haben für die letztere Möglichkeit entschieden. Vorläufig sei es mir gestattet, dem Leser so viel von diesen Versuchen mitzutheilen, als nothwendig ist, um ihm eine Ueberzeugung von der Richtigkeit meiner Behauptung zu geben. An einer andern Stelle als diesem Werke behalte ich mir vor, noch specieller auf diesen höchst wichtigen Gegenstand zurückzukommen, wenn ich denselben nach allen Seiten experimentell abgeschlossen haben werde.

An meinem grossen Multiplicator für den Nervenstrom von 33,000 Windungen, den mir Herr Sauerwald dahier angefertigt hat, untersuchte ich die Stärke der negativen Schwankung, indem ich einmal eine den Bäuschen nahe und einmal eine sehr entfernte von gleicher Länge und Querschnitt tetanisirte. Mochte nun auf den Bäuschen das peripherische oder das centrale Ende des Ischiadicus aufliegen, gleichviel — stets erschien die stärkere negative Schwankung von der fernen Strecke. Der Erfolg blieb ganz derselbe, gleichviel, mochte ich das peripherische Ende des Ischiadicus oder die motorischen Wurzeln den Bäuschen mit Längs- und Querschnitt angelegt haben. So überlegen ist die Reizung von der fernen Strecke, dass derselbe tetanisirende, äusserst abgeschwächte Strömungsvorgang, welcher von der nahen Strecke aus in 10 — 15″ keine Spur von irgend einer Veränderung in dem Stand der Nadel hervorbrachte, durch die ferne Strecke geleitet, sofort eine negative Schwankung erzeugte, welche oft 10° und mehr betrug.

Man sieht also, dass es nicht auf die gegebene bestimmte Stelle ankommt, welche man der Reizung unterwirft, sondern auf ihren Abstand von der abgeleiteten. Obschon ich nun den Versuch mit dem Magnetelectrometer angestellt habe, so kann doch bei so bewandten Umständen und so schwachen Strömen kein Zweifel an der Richtigkeit der Thatsache obwalten, um so mehr als die Erscheinung unverändert eintrat, welches auch die Richtung des Oeffnungsschlages im Nerven sein mochte. Ich brauche wohl nicht hervorzuheben, dass

Digitized by Google

die Controlversuche auf Stromschleifen und unipolare Wirkungen sorgfältigst angestellt wurden.

Du Bois-Reymond giebt in seinem Werke an, dass die negative Schwankung abnehme, wenn sie sich über grössere Strecken ausbreite, so dass also die stärkere Wirkung von der den Bäuschen nähern Strecke aus erfolgen soll. Wählt man starke Schläge, so ist das letztere in der That der Fall, wie auch ich mich überzeugt habe. Gleichwohl würde ich aber vorziehen, diese Thatsache folgendermaassen zu deuten: Während der tetanisirende Stömungsvorgang die ferne Strecke durchsetzt, weicht die sehr träge Nadel äusserst langsam zurück. Innerhalb der langen Zeit, welche sie zur Vollendung des Rückschwunges braucht, wird natürlich die ferne Strecke bedeutend durch den starken tetanisirenden Strom erschöpft, so dass dieser in dem Augenblicke, wo die Nadel wieder im Sinne des Nervenstromes vorwärts gehen will, vielleicht gar keine bemerkbare negative Schwankung mehr erzeugt. Lässt man nun plötzlich den tetanisirenden Strom in die nahe Strecke einbrechen, so erregt dieser nun eine frische vom Strom noch gar nicht berührt gewesene Nervenstrecke und wird dann natürlich auch noch eine mehr oder weniger kräftige Wirkung hervorzubringen vermögen. Dass dies die richtige Deutung der Erscheinung sei, kann nun auch aus anderen Gründen nicht wohl zweifelhaft bleiben. Denn wenn die negative Schwankung das äussere electrische Anzeichen der Reizung ist, wie wäre es denkbar, dass bei Verstärkung der Reizung die negative Schwankung abnehmen sollte? Müsste man dann nicht auch zugeben, dass sehr heftige Reizung ohne negative Schwankung im Nerven stattfinden könnte? Wir kommen demnach zu dem Gesetze, dass die Reizung, welche von einem Querschnitt des Nerven beginnt, sich nach beiden Richtungen mit immer wachsender Gewalt ausbreitet.

Hieraus folgt nun, wie mir scheint, mit Nothwendigkeit, dass das Nervenprincip keine Schwingung im engeren Sinne des Wortes sein wird, da eine solche aus sich heraus nicht an Stärke zunehmen kann, während man zugeben dürfte, dass

ihre Intensität sich gleich bleibe oder abnehme. Es muss mithin die Reizung auf ihrem Wege fortwährend neue Kräfte auslösen und auf diese Weise sich vermehren. Sehen wir nun zu, wie weit wir mit dieser Vorstellung „der Auslösungs-Hypothese des Nervenprincips“, wie ich sie fortan nennen will, reichen, wenn es sich jetzt um eine Erklärung der Erscheinungen handelt. An ihrer grossen und auffallenden Tragweite werden wir alsbald erkennen, dass wir fast zweifellos das Richtige getroffen haben.

Beginnen wir, um die Vorstellungen zu fixiren, mit der Zuckung eines Muskels, dessen Nerv von einem Reize betroffen worden ist. Wir wissen längst, dass die Zuckung durch die am Muskel anlangende Erregung nur ausgelöst worden ist, weil die Arbeit, welche sie zu leisten vermag, bei Weitem die Kraft übertrifft, die die Erregung des Nerven hervorbrachte. Die Auslösung, welche wir hier beobachten, ist indessen nicht so einfach, wie die, welche wir bei einer Pendeluhr vor uns haben. Denn bei dieser ist die Geschwindigkeit des nachmaligen Ganges durchaus dieselbe, mag das ruhende Pendel durch eine grosse oder kleine Kraft in Bewegung versetzt worden sein. Der Muskel aber zuckt schwach oder stark, je nachdem wir schwach oder stark gereizt haben. Da hier nun dennoch eine Auslösung vorliegt, so müssen wir sagen, dass die Summe der bei der Muskelreizung frei werdenden Spannkräfte, welche sich in lebendige Kraft umsetzen, proportional ist der Grösse der Erregung des Nerven. Um nun diese Mechanik etwas klarer zu machen, erlaube ich mir, folgendes Bild zu gebrauchen. Denken wir uns einen Gebirgsee von bestimmten Wassergehalte, so stellt uns derselbe ein Magazin von Spannkräften vor. Denn die allgemeine Schwere strebt jedes Atom nach abwärts zu ziehen, so dass wir augenblicklich über eine je nach der möglichen Fallhöhe beliebige Kraftmenge verfügen, wenn wir dem See einen Abfluss verschaffen. Denn wir vermögen mit Hülfe der lebendigen Kraft der herabfallenden Wassermassen bedeutende Arbeit zu leisten. Reguliren wir aber mit Hülfe einer Schleuse den Abfluss, so steht es innerhalb gewisser Grenzen in un-

serer Macht, über beliebig grosse lebendige Kräfte zu verfügen. Denn es wird um so mehr Wasser herabstürzen, je grösser die Oeffnung ist, welche den Abfluss gestattet. Da man nun die Grössen der Verschiebung der Schleuse proportional setzen kann der hierzu aufgewandten Kraft, so müssen ferner auch die erhaltenen lebendigen Kräfte des Wassers dieser letzteren proportional sein.

Im Principe haben wir also bei der Erregung des Muskels durch den Nerven eine ähnliche Mechanik vor uns. Nehmen wir nun an, dass dieses Gesetz ganz allgemein auch dann gelte, wenn ein Querschnitt des Nervencylinders den nächstfolgenden erregt.

Erinnern wir uns indessen zuerst, dass wir bei jeder Auslösung zwei Umstände wesentlich zu berücksichtigen und auseinander zu halten haben. Der eine bezieht sich auf die vorhandenen Spannkräfte, d. h. auf den Inbegriff aller derjenigen Kräfte, welche theils jetzt, theils nachmals auf ein gegebenes Theilchen auf allen Punkten des Raumes wirken, welche dasselbe unter dem Einflusse der in dem Systeme vorhandenen Kräfte nach einander einnimmt. (S. H. Helmholtz, Ueber die Erhaltung der Kraft, eine physikal. Abhandlung. Berlin 1847.) Wir haben uns nun zunächst Molekelcombinationen zu denken, welche fortwährend bestrebt sind, in Bewegung zu gerathen, dies aber nicht können, weil ein Hinderniss, eine Molecularhemmung, vorhanden ist. Da die Molekelcombinationen des Systems ein fortwährendes Bewegungsstreben haben, muss fortwährend eine Kraft vorhanden sein, welche sie antreibt. Da die Molekeln aber in Ruhe bleiben, so muss die Kraft, welche von der Hemmung herrührt, jener gleich und entgegengesetzt sein. Wir wollen zur ferneren Verständigung die letzteren die negativen Kräfte oder die der Molecularspannung, die anderen die positiven oder die Kräfte der Molecularhemmung nennen. Man darf indessen, wie wir hier kurz bemerken wollen, die Kräfte der Molecularspannung nicht mit den Spannkräften des Molekelsystems unmittelbar identificiren, obschon diese jene bedingen können. So wird der Druck, welchen der eingelegte Sperrhaken der Uhr erfährt, zwar

Digitized by Google

seinen letzten Grund in den vorhandenen Spannkräften des Systems haben; gleichwohl aber bleibt sich dieser Druck, welcher den Kräften unserer Molecularspannung analog ist, stets gleich, wie gross oder klein auch immer die Summe der dem Systeme angehörenden Spannkräfte sein möge, wie hoch oder tief also auch immer das Gewicht über dem Erdboden befindlich sei. Man kann sich indessen auch denken, dass bei gewissen Vorrichtungen die Molekularspannung mit den Spannkräften zugleich zunehme, wofür ich alsbald ein Beispiel angeben werde.

Die Molekularkräfte werden nun bestimmten Bedingungen zu genügen haben, wie sie diejenigen Thatsachen vorschreiben, welche bis jetzt an den Nerven beobachtet worden sind. Nach Erwägung aller dieser Erscheinungen wird man zu einer Vorstellung über die Beschaffenheit der Molecularhemmung geführt, deren allgemeine Charakteristik einstweilen voraufgeschickt werden möge. Beim ruhenden Nerven wird die Hemmung durch bestimmte Kräfte stets in einem gegebenen Zustande erhalten, in welchen sie augenblicklich zurückschnellt, wenn irgend eine Kraft ihn verändert hat. Nach wie vielen Richtungen lässt sich nun unsere Molecularhemmung verschieben? Wir stellen uns vor, dass dies nur nach zweien geschehen könne, wenigstens nur durch diese entweder direct oder indirect diejenigen Bedingungen hergestellt werden, welche vorhanden sein müssen, damit ein Uebergang von Spannkräften in lebendige Kräfte möglich gemacht ist. Hieran knüpft sich nun sofort die weitere Frage, bei welchen von jenen beiden möglichen Veränderungen der Molecularhemmung unmittelbar ein Uebergang von Spannkraft in lebendige Kraft gestattet sei. Die Thatsachen begünstigen hier die Annahme, dass dies jedesmal stattfinde, wenn die Molecularhemmung übergehe aus dem natürlichen in den einen jener möglichen Zustände, niemals aber, wenn das Umgekehrte der Fall ist. Man hat sich aber ferner mit Bezug hierauf vorzustellen, dass die Summe der Spannkräfte, welche bei jener einen Veränderung freigegeben sind, um so grösser ist, je mehr die Hemmung nach diesem Sinne von dem Normalzustande ab-

weicht. Wie verhalten sich nun aber ferner jene Kräfte der Molecularhemmung, wenn diese aus ihrem natürlichen Zustande entfernt worden ist? Weil sie stets augenblicklich nach demselben zurückkehrt, wenn die verändernde Ursache aufhört, während sie, im Normalzustande befindlich, stets in Ruhe ist, so muss durch ihre Abweichung von diesem Zustande zugleich eine Veränderung der restituirenden Kräfte hervorgerufen worden sein, da diese jetzt Bewegung erzeugen, also einander nicht mehr gleich sind. Die stärkere Kraft hat aber allemal die umgekehrte Richtung von derjenigen, welche die Verschiebung hervorbrachte. Das ist das allgemeine Schema, nach welchem wir uns einen gegebenen Querschnitt des Nerven gebaut denken müssen.

Ehe wir indessen weiter gehen, dürfte es vielleicht nicht unangemessen sein, wenn ich nun eine bestimmte Auslösung beschreibe, welche die Eigenschaften hat, die ich so eben für die Molecularhemmung voraussetzte. Durch Darlegung eines solchen Bildes werden wir dann der abstracten Betrachtung vielleicht eine grössere Anschaulichkeit und Deutlichkeit zu verleihen vermögen.

Denken wir uns demgemäss, ein rechtwinklig gebogener Cylinder enthalte in dem einen horizontal gedachten Schenkel ein vertikal gestelltes Diaphragma, dessen Ebene senkrecht auf der Axe des horizontalen Cylindertheiles steht. Es wird dieses Diaphragma nun, gleich dem Kolben einer Dampfmaschine, in zwei Richtungen luftdicht beweglich sein und nur in diesen. Eine gespannte Stahlfeder, deren eines Ende fest ist, möge sich nun mit einer gewissen Kraft gegen dieses Diaphragma von einer Seite anstemmen und es zu verschieben suchen. Wenn wir nun in den andern senkrecht stehenden Schenkel des Cylinders Quecksilber eingiessen, so vermögen wir einen beliebigen Druck gegen dieses Diaphragma hervorzubringen, je höher nämlich das Niveau in dem senkrechten Schenkel über dem Niveau des horizontalen steht. Dieser hydrostatische Druck, welcher seinen Grund in der Schwere hat, wird nun das Diaphragma so lange gegen die Feder vorschieben, bis die Spannung derselben der Grösse des Druckes

Digitized by Google

das Gleichgewicht hält. In derjenigen Hälfte des Cylinders, in welcher das Quecksilber sich befindet, ist derselbe überall geschlossen; wohl aber befindet sich eine Oeffnung in der anderen Hälfte des Cylinders. Wenn wir nun die Stärke der Elasticität der Feder ändern, so wird das Diaphragma in der einen oder anderen Richtung verschoben werden müssen, je nachdem die Elasticität zu- oder abnimmt. Entfernt es sich hierbei von der Oeffnung des Cylinders, so drängt es das Quecksilber zurück, welches also im vertikalen Schenkel ansteigt und darum jetzt mit noch grösserem Drucke auf dem Diaphragma lastet. Macht das Diaphragma aber die umgekehrte Bewegung, weil die Elasticität der Feder abgenommen hat, so erreicht das nachdringende Quecksilber die Oeffnung, strömt aus und gewinnt beim Fallen je nach der Höhe eine beliebige lebendige Kraft. Damit bei einem gegebenen Stande des Diaphragmas immer um so mehr Spannkräfte frei gegeben werden können, je weiter dasselbe in der einen Richtung verschoben ist, muss man der Abflussöffnung die Gestalt eines spiralig gewundenen Schlitzes geben. Die Spirale müsste aber so verlaufen, dass ihr höchster Punkt zugleich der dem Diaphragma nächste wäre.

Wie hat man sich nun, wenn diese Vorstellungen richtig sind, die Wirkungsweise eines electrischen Stromes zu denken, welcher eine Reihe von Querschnitten des Nerven hinter einander durchfliesst? — Wir stellen uns vor, dass im Bereiche des Anelectrotonus die Kräfte der Molecularhemmung vermehrt werden, mithin also indirect auch die der Molecularspannung, während im Bereiche des Katelectrotonus die Stärke der Hemmungskraft nachlässt, also indirect auch die der Spannungskraft. Zwei Umstände sind die nothwendige Folge jenes Vorganges. Die Hemmung bewegt sich erstens am positiven Pol in positiver, am negativen Pol in negativer Richtung. Es muss mithin zweitens die Stärke der elastischen Kräfte am positiven Pole zu-, am negativen abgenommen haben. Denn von den beiden sich entgegenwirkenden Kräften haben wir dort der einen Zuwachs, hier der einen eine Verringerung widerfahren lassen. Dieser der positiven Kraft ertheilte

Zuwachs inducirt aber, wie bei dem Bilde unserer Cylinderschleusse, einen solchen von gleichem Zeichen bei der negativen Kraft.

Sehen wir nun zu, wie wir mit unserer Hypothese die Erregbarkeitsveränderungen erklären können, welche der constante electrische Strom im Nerven hervorbringt. — Eine gegebene Kraftmenge wird einen Körper um so mehr zu verändern vermögen, je kleiner seine elastischen Kräfte sind. Da nun am positiven Pole die Molecular-Elasticität grösser, am negativen kleiner als im normalen Zustande geworden ist, so wird dort dieselbe Kraft eine geringere, hier eine grössere Wirkung als im normalen Zustande hervorzubringen vermögen. Der Strom hat also in unserem Sinne die Spannkräfte unmittelbar ganz unberührt gelassen und nur auf die Molecularhemmung eingewirkt.

Wir fragen nun aber weiter, wie es komme, dass sich die Reizung von einer erregten Stelle aus durch electrotonisirte Strecken gerade so fortpflanzt, als ob diese im natürlichen Zustande befindlich wären, sodass also die Reizung geschwächt am Muskel anlangt, wenn der Reiz eine anelectrotonisirte Strecke erregte, gestärkt, wenn er eine katelectrotonisirte traf und endlich gar nicht verändert, wenn die Stelle weit genug vom Strome entfernt ist; ferner aber bleibt uns hierbei das Problem zu lösen, warum dies Gesetz nur bei schwächeren Strömen gelte, während bei starken nicht nur die directe Reizbarkeit, sondern auch die Leitungsfähigkeit beeinträchtigt wird. Dies führt uns nun zu einer neuen Bedingung für das Naturgesetz, nach welchem die in einem erregten Querschnitt erzeugten lebendigen Kräfte die Molecularhemmung des angrenzenden verändern. Beginnen wir mit den bei schwächeren Strömen geltenden Gesetzen. Es muss die Grösse der Verschiebung der Molecularhemmung in den leitenden Strecken lediglich abhängen von der Grösse der lebendigen Kräfte des ersten, direct erregten Querschnittes, gleichgültig, ob jene Verschiebung in den leitenden Strekken leicht oder schwer herzustellen ist, gleichgültig also, ob die Kräfte, welche sich dieser Veränderung entgegen-

Digitized by Google

setzen, gross oder klein sind. Das ist die eigentliche Paradoxie meines Gesetzes. Denn es ist allerdings ganz klar, dass ein und dieselbe Kraftmenge einen gegebenen Mechanismus um so weniger verändern wird, je grösser die widerstehenden Kräfte sind. Das widerlegt nun aber die Möglichkeit der von mir beobachteten Thatsache nicht, sondern führt mich zu dem weiteren Schlusse, dass, weil bei verschieden grossen widerstehenden Kräften die Veränderung dieselbe war, auch die verändernde Kraft verschieden gewesen sei. Es würde aber daraus weiter folgen, dass absolut ein und derselbe Reiz je nach den Umständen bald grössere bald kleinere verändernde Kräfte von absolut derselben unveränderten Nervenstelle aus zu erzeugen vermöchte. Mit diesem Schlusse, welcher auf den ersten Blick die Paradoxie durchaus zu begründen scheint, ist sie aber auch zugleich beseitigt. Denn wir müssen ferner weiter schliessen, dass, weil in allen Fällen gleicher Reizung nothwendig dieselbe lebendige Kraft freigeworden, trotzdem aber die durch sie hervorgebrachte Veränderung verschieden gewesen, demnach also ganz einfach verschiedene aliquote Theile, nicht aber stets die ganze Summe der lebendigen Kräfte zur Hervorbringung jener Veränderung verbraucht worden sei. Die Natur hat demnach hier die Einrichtung getroffen, von den einmal in dem erregenden Querschnitte freigewordenen lebendigen Kräften immer nur gerade so viel auf die Verschiebung der Molecularhemmung zu verwenden, als nothwendig ist, damit diejenige Grösse der Veränderung zu Stande komme, welche durch die Quantität der vorhandenen lebendigen Kräfte vorgeschrieben ist. Mit dieser Betrachtung hat jede Schwierigkeit ein Ende, da sich viele Vorrichtungen denken lassen, welche alle dasselbe mechanische Princip enthalten.

Möge wiederum zur grösseren Anschaulichkeit ein Beispiel zur Erläuterung dienen. Wir denken uns demnach ein Rad mit horizontaler Axe, welches wir schwer und leicht beweglich machen können, je nachdem wir eine schleifende Feder mehr oder weniger gegen die Axe andrücken. Dieses Rad möge eine Speiche besitzen, welche horizontal

Digitized by Google

gedacht wird und an ihrer Spitze eine ebene ebenfalls horizontale Schaufel trägt. Es falle nun ein langer dünner verticaler Cylinder von Flüssigkeit aus bedeutender Höhe auf die äusserste Kante dieser Schaufel und treibe diese also abwärts, sodass sich das Rad zu drehen anfängt. Sobald die Rotation einen gegebenen kleinen Theil beträgt, hat sich die Schaufel aus dem Bereiche des Flüssigkeitsstrahles verschoben, lange bevor der gesammte Cylinder beim Fallen die ursprüngliche Höhe der Schaufel passirt hat. Wenn wir aber die Feder angedrückt hätten, so würde das Rad durch dieselbe lebendige Kraft einen kleineren Weg zurückgelegt haben, sodass es also von mehr Flüssigkeitstheilchen getroffen worden wäre, welche so lange auf dasselbe einwirken, bis die Rotation jene gegebene Grösse erreicht. Hier erzeugt scheinbar ein und derselbe aus stets derselben Höhe herabfallende Cylinder an dem leicht beweglichen Rade keine grössere Verschiebung als an dem schwer beweglichen; einfach, weil das leicht bewegliche um gerade so viel weniger von der Summe der lebendigen Kräfte des fallenden Flüssigkeitscylinders in Anspruch nimmt, als nothwendig ist, damit es um nicht mehr verschoben wird, als das schwer bewegliche, welches darum einen grösseren Theil der lebendigen Kräfte aufbraucht.

Hieraus scheint nun aber zu folgen, dass bei jeder Stromstärke, welche die Leitungsfähigkeit des Nerven noch nicht merkbar beeinträchtigt, doch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung auf allen anelectrotonisirten Strecken vermindert, auf allen katelectrotonisirten aber vermehrt sei.

Es ist nun merkwürdig, dass unsere Molecularhypothese auch den Umstand als ganz nothwendige Folge in sich begreift, dass bei hohen Stromeskräften der Nerv mit der directen Reizbarkeit auch die Leitungsfähigkeit auf den anelectrotonisirten Strecken verliert. Wir haben gesagt, dass die vorhandene Grösse der lebendigen Kräfte gewöhnlich nur zum Theile verwandt wird, um die vorgeschriebene Veränderung der Molecularhemmung herbeizuführen. Da aber die lebendigen Kräfte vom Strome unabhängig sind, so ist ihre Grösse eine constante, nur durch die Eigenthümlichkeit des Nerven

und die gegebene Stärke der Reizung bestimmte. Wir wissen aber, dass der Anelectrotonus mit der Stromstärke stetig anwächst, also auch die Molecularhemmung. Denn dieses ist ja eben das Wesen des Anelectrotonus. Da nun also die eine Grösse, die Summe der lebendigen Kräfte des erregten Querschnittes constant bleiben, welches auch die Stromstärke sei, die andere, nämlich die Stärke der Molecularhemmung aber stetig wächst, so muss es einen Werth der Stromstärke geben, bei welchem die ganze Summe der erregten lebendigen Kräfte eben nicht mehr ausreicht, um die vorgeschriebene Veränderung der Molecularhemmung herbeizuführen. Jetzt ist Lähmung auf den anelectrotonisirten Strecken.

Hiermit sind die während der Stromesdauer auftretenden Erregbarkeitsänderungen, sowie die Leitungseigenthümlichkeiten des polarisirten Nerven, wie man diese bei verschiedenen Stromstärken beobachtet, aus unserem Fundamentalprincipe abgeleitet. Ist es uns aber gelungen, diese sonderbaren und auf den ersten Blick so räthselhaften Erscheinungen bis zu einem gewissen Grade mit einem mechanischen Verständnisse zu durchdringen, so möge unsere Hypothese noch fernere Proben bestehen, indem wir von ihr weitere Auskunft fordern.

Von der Betrachtung der Grösse der Veränderung, welche eine gegebene Summe der lebendigen Kräfte des erregenden Querschnittes erzeugt, werden wir leicht und einfach zur Erklärung jener Thatsache geführt, der zufolge die Reizung anschwillt, indem sie über grössere Nervenstrecken fortschreitet. Denn wir haben uns nur vorzustellen, dass die lebendigen Kräfte die Molecularhemmung des zu erregenden Querschnittes um so viel ändern, dass die in diesem frei werdenden Spannkräfte diejenigen übertreffen, welche in dem erregenden ausgelöst wurden. Nach welchem speciellen Gesetze nun die lebendigen Kräfte anschwellen, muss künftigen Forschungen überlassen bleiben.

Wenden wir uns jetzt zu der Ableitung des Gesetzes der Zuckung. Ich sagte oben und konnte unter dieser Voraussetzung das Zuckungsgesetz der Molecularhypothese näher bringen, dass das Entstehen des Katelectrotonus, nicht aber

Digitized by Google

des Anelectrotonus den Nerven errege. Der Anelectrotonus stärkt die positiven Kräfte der Molecularhemmung und verschiebt also diese in positivem Sinne, wodurch mithin die Möglichkeit eines Freiwerdens von Spannkräften nicht allein nicht gegeben, sondern sogar erschwert ist, wie wir ja bereits gesehen haben. So wird also bei unserer Schleusse auch keine Flüssigkeit abfliessen, wenn wir der Feder einen Zuwachs an Elasticität ertheilen; so wird eine aufgezogene Uhr erst recht nicht gehen, wenn wir den Sperrhaken, statt ihn auszuheben, noch fester in die Zähne des Rades hineindrücken. Ist dies richtig, so findet niemals eine Reizung durch den Eintritt des Anelectrotonus Statt. Im Bereiche des Katelectrotonus liessen wir den Strom die positiven Kräfte schwächen, sodass also nothwendig eine Verschiebung der Molecularhemmung im Sinne der negativen Kräfte entstehen muss. Es tritt also jetzt nothwendig derjenige Zustand der Molecularhemmung ein, bei welchem ein Theil der Spannkräfte freigegeben ist. Beim ersten Nachlass der positiven Kraft entladen sich die Spannkräfte mit einem Schlage. Es erfolgt Schliessungszuckung! Dauert diese Entladung längere Zeit, so erfolgt Schliessungstetanus. Denn es ist ganz klar, dass, wenn sich augenblicklich wieder Spannkräfte durch den Stoffwechsel anhäufen, zum Ersatz der verloren gegangenen, diese neuen augenblicklich wieder abströmen müssen, weil ja, so lange der Strom geschlossen ist, der Stand der Hemmung in negativem Sinne verschoben bleibt, sodass stets nur eine geringere Summe von Spannkräften, als im normalen Zustande, vom Nerven behalten werden kann. So wird bei unserer Cylinderschleusse die Flüssigkeit so lange abfliessen, bis das vorhandene Niveau gerade den Punkt trifft, wo die Diaphragmafläche sich mit dem Schlitze schneidet. Es würde also um so mehr Flüssigkeit zurück bleiben, je weniger das Diaphragma im negativen Sinne verschoben worden wäre. Endlich wird diese aber fortwährend abströmen, wenn immer ebenso viel in den Cylinder nachflösse, als er abgiebt. Dieser Umstand des raschen Ersetzens der verlorengehenden Kräfte ist höchst wahrscheinlich mit im Spiele bei der tetanisirenden Wirkung

Digitized by Google

des constanten Stromes oder dem Schliessungstetanus. Weshalb derselbe eine so merkwürdige Art der Abhängigkeit von der Stromstärke hat, habe ich bereits oben auseinandergesetzt. Ich werde indessen in der Folge noch auf einen zweiten Umstand aufmerksam machen, welcher ebenfalls das Erscheinen des Schliessungstetanus, d. h. ein fortwährendes Freiwerden von Spannkräften bedingen würde.

Wenden wir uns nunmehr zu den Gesetzen der Oeffnungszuckung. Ich habe dieselben abgeleitet unter der Voraussetzung, dass das Verschwinden des Anelectrotonus, nicht aber des Katelectrotonus den Nerven errege. Diese Voraussetzung selbst ist aber eine ganz nothwendige Folge meiner Molecularhypothese. Denn mit der Oeffnung des Stromes müssen im Bereiche des Anelectrotonus die negativen Kräfte die Oberhand haben, weil nur diese die in positiver Richtung verschobene Hemmung wieder zu ihrem normalen Zustande zurückzuführen vermögen. Der Strom hat also das vor seinem Erscheinen vorhandene Gleichgewicht der positiven und negativen Kräfte in dem Augenblicke seines Entstehens gestört und hierbei eine Arbeit geleistet, weil sich nämlich nach seinem Vergehen dasselbe wieder herzustellen strebt. Das Aequivalent dieser Arbeit muss sich nun wiederfinden in der lebendigen Kraft, welche die Hemmung in dem Augenblicke hat, wo die beschleunigenden Kräfte der Null gleich sind und die Hemmung in ihre Gleichgewichtslage gekommen sein wird. Es kann diese Gleichgewichtslage jetzt also keine Ruhelage sein, welches selbst dann noch wahr bleiben muss, wenn die betrachtete Bewegung Widerstände zu überwinden hätte, von denen wir soeben noch absahen. Es ist also klar, dass die Molecularhemmung im Sinne der negativen Kräfte über ihre Gleichgewichtslage hinausgehen wird. Wir haben aber oben gesagt, dass durch jeden Uebergang aus dem normalen Zustande nach jenem andern in negativem Sinne ein gegebener Theil der Spannkräfte frei werden kann. Diese Bewegung in negativem Sinne wird aber um so grösser sein, je kleiner die Widerstände sind, welche sich der vorhandenen Bewegung widersetzen. So wird ein Pendel ewig in Bewegung bleiben,

Digitized by Google

wenn es in der absoluten Leere seine Schwingungen vollzieht. Finden diese aber in einem Medium statt, so muss das Pendel um so eher zur Ruhe kommen, je grösser der Widerstand ist, welchen das Medium dem bewegten Körper entgegenstellt. Da nun unsere Molecularhemmung schnell zur Ruhe kommt, so müssen solche widerstehende Kräfte vorhanden sein. Es wird also nothwendig die Entfernung der Molecularhemmung in negativer Richtung von der Ruhelage kleiner sein, als diejenige, welche der Strom in positiver Richtung hervorbrachte. Dieser letztere Umstand ist wichtig und wir werden nachher nochmals auf denselben zurückkommen.

Im Bereiche des Katelectrotonus soll keine Erregung des Nerven, kein Freiwerden von Spannkräften stattfinden, wenn dieser Zustand verschwindet. Auch dies ist eine ganz nothwendige Folge meiner Hypothese. Denn während der Strom floss, war ja bereits die Molecularhemmung in negativem Sinne aus der Normallage verschoben, hatten sich also diejenigen Spannkräfte umgesetzt, welche bei der Grösse dieser Verschiebung freigegeben waren. Bei der Oeffnung des Stromes kehrt ja die Hemmung aber nach der Normallage zurück, hat also die positive Kraft die Oberhand, verringert sich demnach die während des Stromes vorhandene Möglichkeit der Umsetzung einer gegebenen Summe von Spannkraft. Nur bei einer weiteren Veränderung der Molecularhemmung im Sinne der negativen Kräfte oder bei einer Vermehrung der vorhandenen Spannkräfte, nicht aber bei einer Veränderung in positivem Sinne bei constanten Spannkräften könnte im Augenblicke der Oeffnung des Stromes auf den katelectrotonisirten Strecken Spannkraft frei werden, das heisst Reizung stattfinden. Es ist mithin klar, dass ein Verschwinden des Katelectrotonus ebensowenig den Nerven zu erregen vermag, als das Kommen des Anelectrotonus. Hiermit ist das Zuckungsgesetz erklärt, und der Leser wird mir zugeben, dass diese Erklärung so verwickelter Verhältnisse doch äusserst einfach aus unserer Grundanschauung sich ergiebt.

Wir haben aber bei der Erklärung des Zuckungsgesetzes aus unserer Grundvorstellung noch die eine Annahme gemacht,

Digitized by Google

dass das Entstehen des Katelectrotonus den Nerven stärker errege, als das Verschwinden des Anelectrotonus, weil nach dem Zuckungsgesetze des lebendigen Nerven die Schliessung eines beliebig gerichteten Stromes wirksamer als die Oeffnung desselben ist. Auch dies folgt äusserst einfach und natürlich aus meiner Hypothese, wenn ich mir vorstelle, dass bei der Schliessung an der negativen Electrode die Molecularhemmung um absolut eben so viel in negativer, als die an der positiven Electrode in positiver Richtung durch den Strom verschoben wird. Denn wenn dies der Fall ist, so muss, wie wir bereits sahen, nach der Oeffnung auf dem anelectrotonisirten Querschnitt die Grösse der Verschiebung der Hemmung von der Normallage aus in negativem Sinne nothwendig kleiner sein, als bei der Schliessung diejenige im Bereich des Katelectrotonus. Bei kleinerer Verschiebung sind aber weniger Spannkräfte freigegeben, findet also geringere Reizung statt.

Bemühen wir uns nunmehr, nachdem wir den mechanischen Sinn der Principien des Gesetzes der Zuckungen, wie der electrotonischen Veränderungen erkannt haben, die eigentliche Bedeutung des allgemeinen Gesetzes der electrischen Reizung zu verstehen, wie dasselbe von du Bois-Reymond ausgesprochen worden ist.

„Nicht der absolute Werth der Stromdichtigkeit in jedem Augenblicke ist es, auf den der Bewegungsnerv mit Zuckung des zugehörigen Muskels antwortet, sondern die Veränderung dieses Werthes von einem Augenblicke zum andern, und zwar ist die Anregung zur Bewegung, die diesen Veränderungen folgt, um so bedeutender, je schneller sie bei gleicher Grösse vor sich gingen, oder je grösser sie in der Zeiteinheit waren." (S. du Bois-Reymond, Untersuchungen, Bd. I. p. 258 u. 259.)

Einfach und schön folgt dieses wichtige Gesetz aus meiner Anschauung. Lasse ich den Strom sehr langsam von Null aus im Nerven anschwellen, so weichen äusserst langsam im Bereiche des Katelectrotonus die Molecularhemmungen im negativen Sinne zurück, als ob wir äusserst langsam unser Diaphragma im Cylinder im Sinne der negativen Kraft

Digitized by Google

zurückgehen liessen. Ebenso langsam werden sich nun diejenigen Spannkräfte umsetzen, welche bei dem gerade vorhandenen Stande der Hemmung freigegeben sind. Es wäre so, als ob bei unserer Schleusse dis Flüssigkeitsmasse in Tropfen abflösse und so das Niveau erniedrigte, das sich nach einiger Zeit wieder auf die frühere Höhe hebt. Es werden also im Allgemeinen bei gleicher Verschiebung gerade so viel Spannkräfte umgesetzt, gleichviel ob wir diese Verschiebung langsam oder schnell herbeiführen. Die durch die frei gewordenen lebendigen Kräfte hervorgebrachten Wirkungen müssen deshalb aber in einem gegebenen Augenblicke um so kleiner werden, je länger die Zeit ist, über welcher sie sich ausbreiten. So können wir ungestraft beliebige Mengen Schiesspulver explodiren lassen, wenn wir nur ein Körnchen nach dem andern anzünden. Sobald wir aber dieselbe Kraftmenge auf einmal entfesseln, sobald sich diese auf eine sehr kleine Zeit concentrirt, erzeugt sie die gewaltigsten Wirkungen, erschüttert auf weithin den atmosphärischen Ocean und den festen Boden der Erde. Das ist nach meiner Grundanschauung über die Natur des Nervenprincipes die eigentliche mechanische Bedeutung des von du Bois-Reymond aufgestellten Gesetzes.

Es ist ersichtlich, dass dieselbe Erklärung auch die verschiedenen anderen Erfolge bei Reizung mit anderen Agentien erklärt, wenn man diese Wirkungen von dem von mir aufgestellten allgemeinen Gesichtspunkte aus betrachtet, demzufolge eine äussere Einwirkung den Nerven um so mehr erregt, je schneller sie eine gegebene Veränderung in demselben hervorbringt. Ich setze hierbei das Gesetz der specifischen Energie des Nerven als ebenfalls aus meiner Hypothese abgeleitet voraus, da es aus dieser so nothwendig und natürlich folgt, dass wir darüber keine weitere Betrachtung anzustellen brauchen. Bei der Annahme von Schwingungen würde sich dieses Gesetz unzweifelhaft nicht so von selbst verstehen.

Die Bedeutung des Tetanisirens des Nerven wird nun klar sein und bietet uns ein anschauliches Bild des Vorganges, welcher hier Platz greift. So lange der Inductionsstrom ansteigt, sind die Hemmungen im Bereiche des Katelectroto-

Digitized by

nus in negativer, im Bereiche des Anelectrotonus in positiver Bewegung begriffen, während bei dem Abfalle des Stromes das Umgekehrte Platz greift. Während also die Ventile so alternirend arbeiten, entladen sich alternirend Spannkräfte bald am positiven, bald am negativen Pol. Die zwischen zwei Schlägen verfliessende Zeit reicht aus, um beim frischen Nerven neue Spannkräfte aufzuhäufen. Wir werden diesen Punkt in der Folge noch specieller erörtern. Vorher wollen wir zunächst noch einige Umstände betrachten, welche mit Bezug auf die Grösse der Reizung von Wichtigkeit erscheinen.

Es ist bekannt und erst neuerdings abermals von mir festgestellt worden, dass die Reizung mit zunehmender Länge in raschem Wachsen begriffen sei. Mit zunehmender Länge wächst der Katelectrotonus, wie der Anelectrotonus, sei es nun, dass in der That die Ordinaten der die Intensität dieser Zustände darstellenden Curven wachsen, oder letztere bei gleichbleibenden Ordinaten sich nur im Sinne der Abscisse strecken oder vielmehr verschieben, welches letztere indessen nicht so wahrscheinlich als das erste ist. Aber gleichviel — in beiden Fällen müssten im Nerven mehr Spannkräfte frei werden, also grössere Reizung stattfinden. Es ist aus dieser Erklärung zugleich ersichtlich, warum trotz abnehmender Stromstärke bei Vermehrung der Länge die Reizung doch verstärkt erscheinen kann.

Wie die Reizung sehr abhängig ist von der Länge der intrapolaren Strecke, so hängt sie ebenfalls auch von dem Winkel ab, unter welchem der electrische Strom in die Primitivfaser eintritt. Es hat nun offenbar gar keine Schwierigkeit sich zu denken, dass die Grösse der Stromeskraft, welche auf die Kräfte der Molecularhemmung einwirkt, eben eine Function der Richtung sei, unter welcher die Strombahn durch die Molecularhemmung gelegt ist.

Was sodann die Abhängigkeit der Fortpflanzung der Reizung von der Continuität der Nervenfaser betrifft, so ist dieser Umstand bei unserer Anschauung durchaus ersichtlich. Denn hier, wo Eins in das Andere greift, braucht natürlich nur ein Punkt schadhaft zu werden, damit die Leitung unter-

Digitized by Google

brochen sei. Für die Frage, ob Schwingung ob Auslösung, ist das Gesetz der isolirten Leitnng des Nervenprincips von nicht so erheblicher Wichtigkeit als für die Thatsache, dass die Nervenkraft nicht in Distanz wirkt, sodass die Reizung sich nur durch absolut continuirliche Nervenmaterie fortzupflanzen vermag.

Wir werden hiermit naturgemäss zu dem Probleme geführt, mit welcher Geschwindigkeit nun die Reizung durch die Nervenmaterie vorschreitet. Wie Helmholtz gezeigt hat, ist diese Fortpflanzung äusserst langsam, was in der That mit der Annahme von Molecularschwingungen so besonders nicht passt, wohl aber aus unserer Vorstellung sehr ersichtlich ist. Auf einige hierher gehörige Fragen habe ich bereits oben aufmerksam gemacht.

Soweit haben wir uns mit Erscheinungen beschäftigt, welche uumittelbar am frischen lebendigen Nerven beobachtet werden können. Wie verhält sich nun aber ein Nerv, den wir soeben einen Augenblick lang nur einem electrischen Strome ausgesetzt haben. Er ist ein ganz anderer nach der Oeffnung geworden, als der er vor der Schliessung war, obschon er eine längere Zeit nachher doch wieder den normalen Zustand erreicht. Wer sich das Nervenprincip als Schwingungen vorstellt, wird hier sehr schwer begreifen, warum das so sei, während bei unserer Anschauung sich dieser Erfolg von selbst versteht. Denn der Nerv hat ja bei der Schliessung Kraft ausgegeben auf allen katelectrotonisirten Strecken, bei der Oeffnung auf allen anelectrotonisirten. Der Stoffwechsel, den wir also nothwendig annehmen müssen, gleicht auch beim Nerven, wie bei anderen Organen, das Verlorene wieder aus, das heisst es klingen die Modificationen ab. Würden wir nun bei Untersuchung der Erregbarkeit des Nerven nach der Oeffnung die Modification negativ finden, so läge die Erklärung auf der Hand. Wir würden also sagen, dass der Stoffwechsel noch nicht Zeit gefunden, das Verlorene wieder merkbar zu ersetzen. Die Natur hat aber den Nerven besser eingerichtet und dafür gesorgt, dass sofort neue Spannkraft angehäuft wird, wenn durch ihren Verlust die Molecu-

larspannung nachgelassen hat. Würden wir also die Erregbarkeit nach der Oeffnung des nicht zu lange dauernden modificirenden Stromes gar nicht verändert finden, so wäre auch das mit unserer Vorstellung in Einklang zu bringen. Wir finden nun aber die Erregbarkeit erhöht. Wie sollen wir uns im Sinne unserer Molecularhypothese diese Thatsache erklären? Es scheint mir unwahrscheinlich, dass der Umsatz von einer gewissen Summe von Spannkräften bei der Reizung sofort eine Anhäufung von einer grösseren Summe von Spannkräften secundär induciren sollte. Denn nach einigen Secunden hat der Nerv wieder seine frühere Erregbarkeit, ohne dass inzwischen etwa irgend etwas von Umsetzung der überschüssigen Spannkraft bemerkt worden ist. Hierfür spricht ferner, dass, wenn man den Nerven ebenso lange tetanisirt, als der constante Strom gewirkt hat, die Erregbarkeit ungleich weniger verändert ist, obschon das Tetanisiren doch nach unserer Vorstellung einen grösseren Stoffverbrauch bedingt. Endlich aber sehen wir, dass bei abnehmendem Stoffwechsel, so bei Thieren, die lange gehungert haben, also bei den Winterfröschen, ferner sogar bei Menschen, deren Ernährung zurückgeht, die Reizbarkeit der Nerven zunimmt. Wollen wir uns nun vorstellen, dass der Nerv um so stärkere und grössere Kräfte erlange, je schlechter der Stoffwechsel vor sich gehe? Gewiss nicht! Wir werden vorziehen, uns zu denken, dass, während der allgemeine Stoffwechsel zurückgeht, in höherem Maasse und zuerst die Kräfte der Molecularhemmung leiden, sodass ein Verlust der Molecular-Elasticität stattfinden muss. Wir stellen uns also vor, dass jene Hemmung, welche fortdauernd verhindert, dass sich Spannkräfte in lebendige Kräfte umsetzen, beim erregbarer gewordenen Nerven leichter zu beseitigen oder zu schwächen sei. Auch scheint mir diese Vorstellung nicht unnatürlich. Denn wir mussten zur Erklärung der Stromeswirkungen annehmen, dass dieser nur auf die Molecularhemmungen einwirkt und dies zwar so lange thut, als er vorhanden ist. Offenbar aber versteht es sich nun gar nicht von selbst, dass eine Mechanik, auf welche eine gegebene Kraft eine Zeitlang einwirkt, nicht nach Aufhören dieser

Digitized by Google

Kraft verändert zurückbleibt. A priori muss man vielmehr eine nicht ideale Elasticität erwarten, was denn auch wirklich vorliegt. Die specielle Art dieser Einwirkung besteht nun darin, dass die Kräfte der Molecularhemmung geschwächt zurückbleiben. Doch wird diese Schwächung wieder langsam durch den Stoffwechsel gehoben. Man hat sich also wohl einzuprägen, dass ein durch den constanten Strom erregbarer gewordener Nerv nicht einem gestärkten, sondern einem geschwächten gleich zu setzen sei. Wie leicht sind diese Erscheinungen mit unserer Hypothese verständlich, und wie schwer würde sie es sein, wenn wir uns dächten, dass das Nervenprincip als eine Schwingung aufzufassen sei!

Somit wäre die positive Modification mit ihrem Abklingen erklärt, welche man gewöhnlich allein zu sehen bekommt. Wir haben aber gefunden, dass im Bereiche des Katelectrotonus bei äusserst rascher Reizung nach Unterbrechung des modificirenden Stromes die Modification negativ sei, gerade so wie das a priori am wahrscheinlichsten wäre. Weil nämlich der Katelectrotonus fortdauernd die Schleusse offen hält, so muss alle neu entstehende Spannkraft augenblicklich sich wieder verlieren, sodass in der That auf dem Bereiche des Katelectrotonus ein ungleich bedeutenderer Stoffverbrauch als im Bereiche des Anelectrotonus stattfindet, wo er nur bei dem Verschwinden einen Augenblick möglich ist. Die Verringerung der Erregbarkeit ist also unmittelbar nach dem Verschwinden des Katelectrotonus ein wirklicher Mangel an Spannkraft, welcher aber viel rascher ausgeglichen wird, als die Schwäche der Molecularhemmung, sodass in einigen Augenblicken wieder eine positive Modification erscheint auf den früher katelectrotonisirten Strecken.

Diese Betrachtungen, zu welchen wir geführt wurden, führen uns aber zu einem weiteren Schlusse, welcher uns einen Blick werfen lässt auf die Veränderungen, welche während der Stromesdauer im Nerven Platz greifen. So wird also bei der Schliessung eines Stromes die Molecularhemmung dem Einflusse desselben stärker widerstehen, sich ihm mehr widersetzen und kleinere Veränderungen eingehen in seinem

Sinne, als wenn er bereits länger eingewirkt hat. So werden demnach die Hemmungen am positiven Pole allmählig mehr in positiver Richtung, die am negativen Pole mehr in negativer Richtung verschoben. Jedwede Verschiebung in negativer Richtung setzt Spannkraft in Freiheit, die sich sonst nie entladen hätte. Höchst wahrscheinlich summiren sich diese Spannkräfte zu denjenigen, welche der Stoffwechsel stets zum Ersatz der verloren gegangenen nachliefert, und vermehren so die tetanisirende Wirkung des constanten Stromes. Jene Verschiebung in positiver Richtung heisst aber nichts anderes, als eine Vermehrung des Anelectrotonus, weshalb mit der Stromesdauer die Stärke der Oeffnungszuckung zunimmt.

Mit allen diesen Erklärungen ist nun aber, um auf dem Gebiete der Modificationen weiter zu schreiten, die deprimirende Wirkung starker Ströme, wenn sie selbst nur einige Minuten dauern, nicht in Einklang zu bringen. Bedenkt man aber, dass diese Wirkung nur in der intrapolaren Strecke vorhanden ist, so wird es klar, dass wir es hier zunächst mit nichts anderem als einer totalen Zerstörung aller inneren Molecularverhältnisse zu thun haben.

Ich wende mich nunmehr zur Betrachtung derjenigen Nachwirkungen, welche meist nur nach längerem Schliessen eines electrischen Stromes am Nerven beobachtet werden und als lang dauernde Bewegungserscheinungen des Nervenprincips zu betrachten sind, welche der Oeffnung des Stromkreises nachfolgen und sie längere oder kürzere Zeit überdauern. Unaufhörlich entladen sich — im Sinne unserer Anschauung — die vorhandenen Spannkräfte auf allen anelectrotonisirten Strecken; denn unaufhörlich bebt der Muskel. Die Hemmungen, auf welche der Strom fortdauernd und so lange einwirkte, versagen ihren Dienst; so muss die vorhandene Spannkraft verloren gehen, sowie alle die, welche auf den noch nicht erschöpften anelectrotonisirten Strecken der Stoffwechsel fortwährend nachliefert. Das ist das Bild des Oeffnungstetanus! — Es wird indessen vortheilhaft sein, wenn wir noch specieller diesen Vorgang ins Auge fassen. Wir haben gesagt, dass ein Strom die Molecularhemmung fortwährend zu

Digitized by Google

verändern strebe und dass er dies um so mehr erreiche, je länger er eingewirkt habe. Auf dem Bereiche des Anelectrotonus nun sind keine Spannkräfte verbraucht worden, während der Strom dauerte. Sobald er aufhört, ist ihre Spannung also die alte. Die Kraft der Molecularhemmung aber ist sehr schwach, so dass die Hemmung nun in negativem Sinne bedeutend aus ihrer Normallage verdrängt wird durch die Kräfte der Molecularspannung. Am negativen Pole haben Spannkräfte und Molecularhemmung gelitten, so dass auch aus anderen bereits erwähnten Gründen hier keine Tetanusursache nach der Oeffnung des Stromes vorhanden ist. Während nun am positiven Pole sich die Spannkräfte entladen und der Stoffwechsel die Molecularhemmung wiederum in den normalen Zustand zu bringen strebt, muss naturgemäss der Tetanus allmälig abnehmen. Jede Schliessung desselben modificirenden Stromes, welcher den Tetanus erzeugte, bringt den Oeffnungstetanus auf der Stelle wieder zum Verschwinden. Natürlich! Denn derselbe Strom hat ja vorher bei mehr Spannkräften der Molecularhemmung die bedeutendere Stärke als im normalen Zustande verliehen; es kann also keine Spannkraft frei werden. Ja, da ein Theil der Spannkräfte sich im Oeffnungstetanus verzehrt, so wird nachher sogar die Schliessung eines schwächeren Stromes diesen aufheben können. Hiermit ist der erste Theil des Rosenthal'schen Gesetzes der Modificationen erklärt. Der zweite Theil sagt, dass der Oeffnungstetanus, durch die Schliessung des schwachen modificirenden Stromes in entgegengesetzter Richtung verstärkt, durch die Oeffnung geschwächt werde. Auch das ist eine nothwendige Folge unserer Theorie. Denn der Oeffnungstetanus hat seinen Grund in der Schwäche der Molecularhemmung auf den früher anelectrotonisirten Strecken. Wende ich nun den schwachen Strom, so gerathen alle diese Strecken in Katelectrotonus. Wir sahen aber, dass der Katelectrotonus die Molecularhemmung zu schwächen strebe und deshalb bereits bei noch kräftiger Molecularhemmung Tetanus zu erzeugen vermöge. Er wird diese Wirkung also an einer geschwächten Hemmung in erhöhtem Maassstabe hervorzubringen vermögen,

Digitized by Google

mithin einen möglichst grossen Verlust an Spannkräften bedingen. Unterbricht man diesen kurz dauernden Strom, so wird natürlich jetzt die Molecularhemmung schon eher im Stande sein, dem fortwährenden Umsatz der Spannkräfte entgegenzuwirken, weil mit deren Abnahme ja die Grösse der Molecularspannung auch abnimmt. Somit ist auch der zweite Theil des Rosenthal'schen Gesetzes erklärt. Dass kurze abermalige Schliessung des Stromes, welcher den Oeffnungstetanus hervorbrachte, ihn wieder erzeugen kann, wenn er verschwunden war, ist wieder ganz ersichtlich. Denn während der Anelectrotonus dauert, wird den Spannkräften gar kein Schade gethan; sie behalten Zeit, sich weiter zu erholen, während die wieder etwas durch die Ruhe gewachsene Stärke der Molecularhemmung wieder abnimmt. Dann muss natürlich bei der Oeffnung das alte Spiel von Neuem anfangen.

Ich habe gesagt, dass das Rosenthal'sche Gesetz nur für schwache und mittelstarke Ströme gelte, nicht aber, wie ich gefunden habe, für starke. Denn der durch einen kurz dauernden starken Strom — langdauerde bedingen keinen Oeffnungstetanus — erzeugte Oeffnungstetanus wird durch die Schliessung des beliebig gerichteten Stromes beseitigt. Auch dies ist eine nothwendige Folge der bereits bekannten Thatsachen. Bei starken Strömen herrscht nämlich fast auf der gesammten intrapolaren Strecke, in welcher bekanntlich nach Ritter die Ursache des Oeffnungstetanus zu suchen ist, der anelectrotonische Zustand, auf fast der gesammten also Reizung, wenn der Strom unterbrochen wurde. Schliesst man nun den beliebig gerichteten Strom wieder aufs Neue, so verfallen fast alle Theile abermals in Anelectrotonus, in dem sie vorher waren, wo also die Molecularhemmung von dem Strome so sehr gestärkt wird. Dass dieses Gesetz wiederum bei Schliessung des aufsteigenden starken Stromes sich stärker ausgesprochen zeigt, als bei Schliessung des absteigenden, dürfte klar sein. Bei schwachen und mittelstarken Strömen ist das natürlich ja anders; denn bei ihnen tritt beim Stromeswechsel die ganze, vorher anelectrotonische, in dem Zustand der Reizung bereits begriffene Zone in den ebenfalls

Reizung bedingenden Zustand des Katelectrotonus. Hiermit ist also auch mein Gesetz für die durch starke Ströme bedingte Modification erklärt, das ich so ausspreche:

> Der durch starke Ströme erzeugte Oeffnungstetanus wird geschwächt durch die Schliessung des beliebig gerichteten modificirenden Stromes, gestärkt durch die Oeffnung des beliebig gerichteten. Für die Schliessung des absteigenden Stromes ist dieses Gesetz noch nicht als vollkommen gesichert anzusehen.

Von der Erklärung der bis jetzt bekannten Erscheinungen der Modification durch constante Ströme, welche also grösstentheils, das heisst vorzugsweise ihren Grund haben in einer Schwächung der Molecularhemmung, werden wir naturgemäss zu denjenigen Veränderungen geführt, welche hauptsächlich durch einen Verlust an Spannkräften bedingt sind.

Hierher gehört zunächst die Thatsache, dass wenn wir mit Inductionsströmen einen Nerven tetanisiren, nach einiger Zeit sowohl intrapolare als extrapolare Strecken sehr bedeutend von ihrer Erregbarkeit verloren haben, während einige Bruchtheile einer Sekunde Ruhe ausreichen, um dem Nerven einen Theil seiner Leistungsfähigkeit wiederzugeben. Im Sinne von Schwingungen ist das sehr schwer oder gar nicht zu erklären, bei unserer Auffassung aber äusserst leicht. Der Stoffwechsel strebt zwar fortwährend die Summe der vorhandenen Spannkräfte auf constanter Höhe zu erhalten und liefert augenblicklich neue nach, sobald die Molecularspannung nachgelassen hat. Wenn aber einmal wegen sehr heftiger Reizung mehr Spannkraft abgegeben wird, als neue entsteht, muss natürlich nach einiger Zeit Erschöpfung eintreten. Wartet man aber ein paar Augenblicke, so hat sich dieser Verlust wieder zum Theile ausgeglichen. Setzen wir indessen die Reizung trotz dem noch immer fort, so braucht der Nerv immer längere Zeit zur Erholung. Auch das ist ersichtlich, da man wohl einsieht, dass das Material, welches fertig gebildet daliegt, um Spannkraft zu liefern, wenn es nothwendig ist, natürlich schliesslich auch aufgebraucht wird.

Digitized by Google

Ist dieses eingetreten, dann ist lange Zeit nothwendig, ehe der Nerv wieder seine Schätze auf den normalen Stand gebracht hat.

Es bleibt uns endlich noch die Besprechung einer Sonderbarkeit des Nerven, welche im Bereiche der Schöpfung normal nur bei einer Thierklasse vorkommt, nämlich die den electrischen Fischen gegebene hohe Immunität gegen electrische Schläge, sodass ihnen solche nichts anhaben, welche andere Thiere auf das tiefste zerrütten. Gleichwohl werden bei ausreichender Stromesdichte auch deren Nerven z. B. electrisch tetanisirt ganz so wie andere. Wie also derselbe Nerv bei demselben Thiere zu Zeiten erregbarer, zu Zeiten es weniger ist, so werden die Nerven verschiedener Thiere je nach der Stärke ihrer Molecularhemmung verschieden erregbar sein. In dieser Eigenschaft zeichnet sich nun der electrische Fisch vor allen anderen Thieren besonders aus, indem bei ihm nur ein Naturgesetz schärfer als bei anderen ausgeprägt ist. In diesem Sinne verliert diese Erscheinung ihre auf den ersten Blick so grosse Paradoxie.

Wenn wir uns darüber wundern wollten, dass ausser der Eigenthümlichkeit eines besonderen Organes, was keinem anderen Thiere zukommt, dieser Fisch nun auch noch anders gebaute d. h. stärkere Nerven habe, so müssten wir billigerweise ebenso sehr erstaunt sein, weshalb ein Fleischfresser ausser den gewaltigen Zähnen auch noch die mächtigen Kiefermuskeln hat, ohne deren Besitz ihm die Zähne vollkommen nutzlos wären. Derartige compensatorische Vorrichtungen sehen wir allüberall im Bereiche der organischen Natur — und es würde unrichtig sein, sie zu leugnen. So kann den furchtbaren Fisch die vernichtende Kraft, mit welcher er seine Feinde erschlägt, selbst treffen, ohne dass sie ihn zu verletzen vermag. —

Ich beschliesse hiermit diesen Versuch einer Theorie der Mechanik des Nerven, welcher sich vorsetzte, einen allgemeineren Gesichtspunkt zu gewinnen, von welchem aus man sich die Thatsachen vorstellen kann.

Natürlich muss ich es, was ich gerne zugestehe, zukünftigen Forschungen überlassen, darzuthun, wie nun die

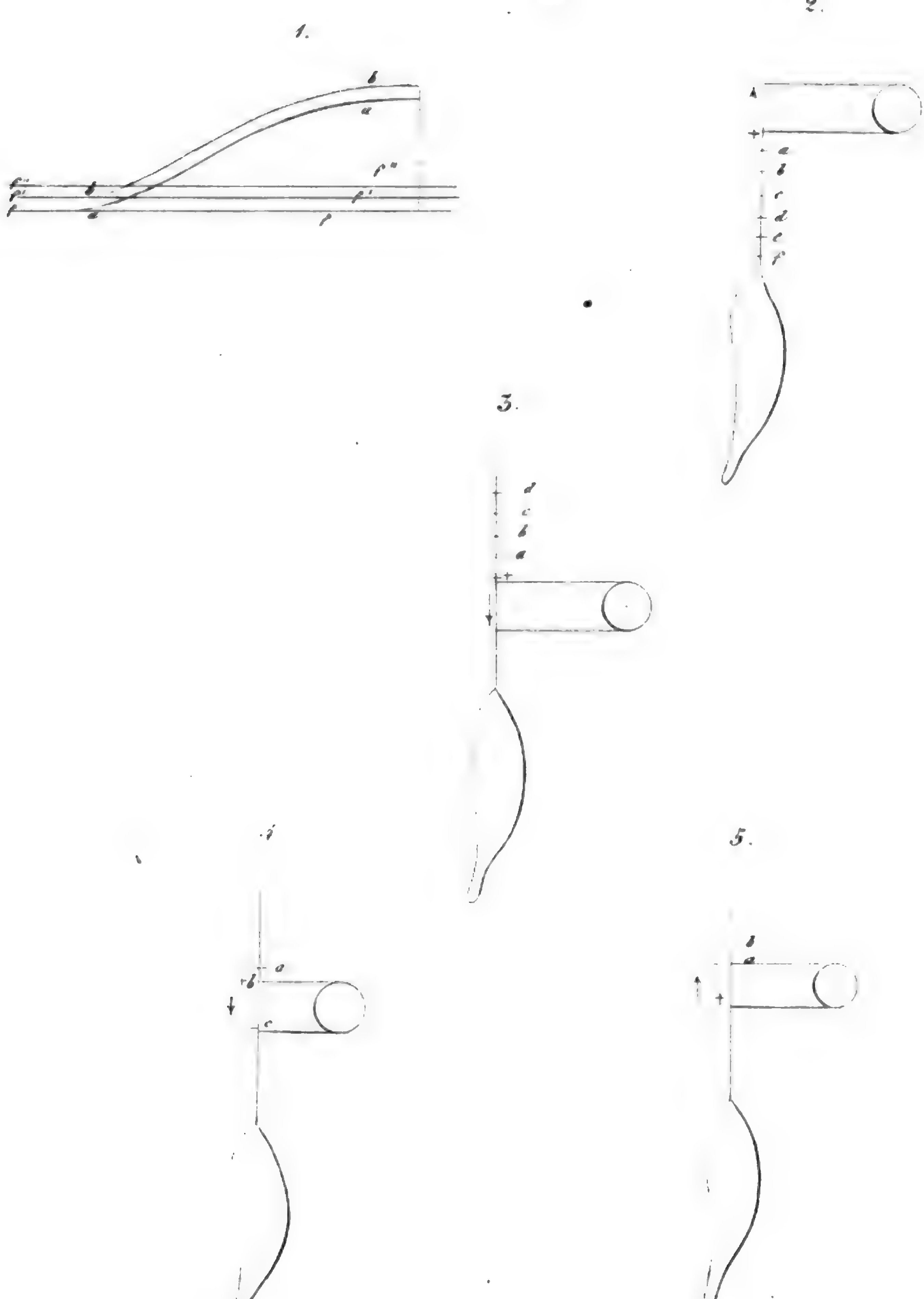
Digitized by Google

electromotorischen Molekeln sich zu Gruppen und grösseren Molekelcomplexen zusammenschaaren, damit schliesslich diejenige Mechanik aufgebaut werde, welche ich soeben dargelegt habe, wobei zu ermitteln ist, ob das erweiterte Schema du Bois-Reymond's diesen Anforderungen Genüge leistet. Ebenso müsste dann festgestellt werden, ob die Erscheinungen am Multiplicator nur herrühren von den Kräften der Molecularhemmung, oder auch von den Spannkräften des Nerven.

So bleibt es ferner der Zukunft überlassen, den tieferen Sinn jener antagonistischen elastischen Vorrichtung zu deuten, deren Annahme uns so gute Dienste geleistet hat.

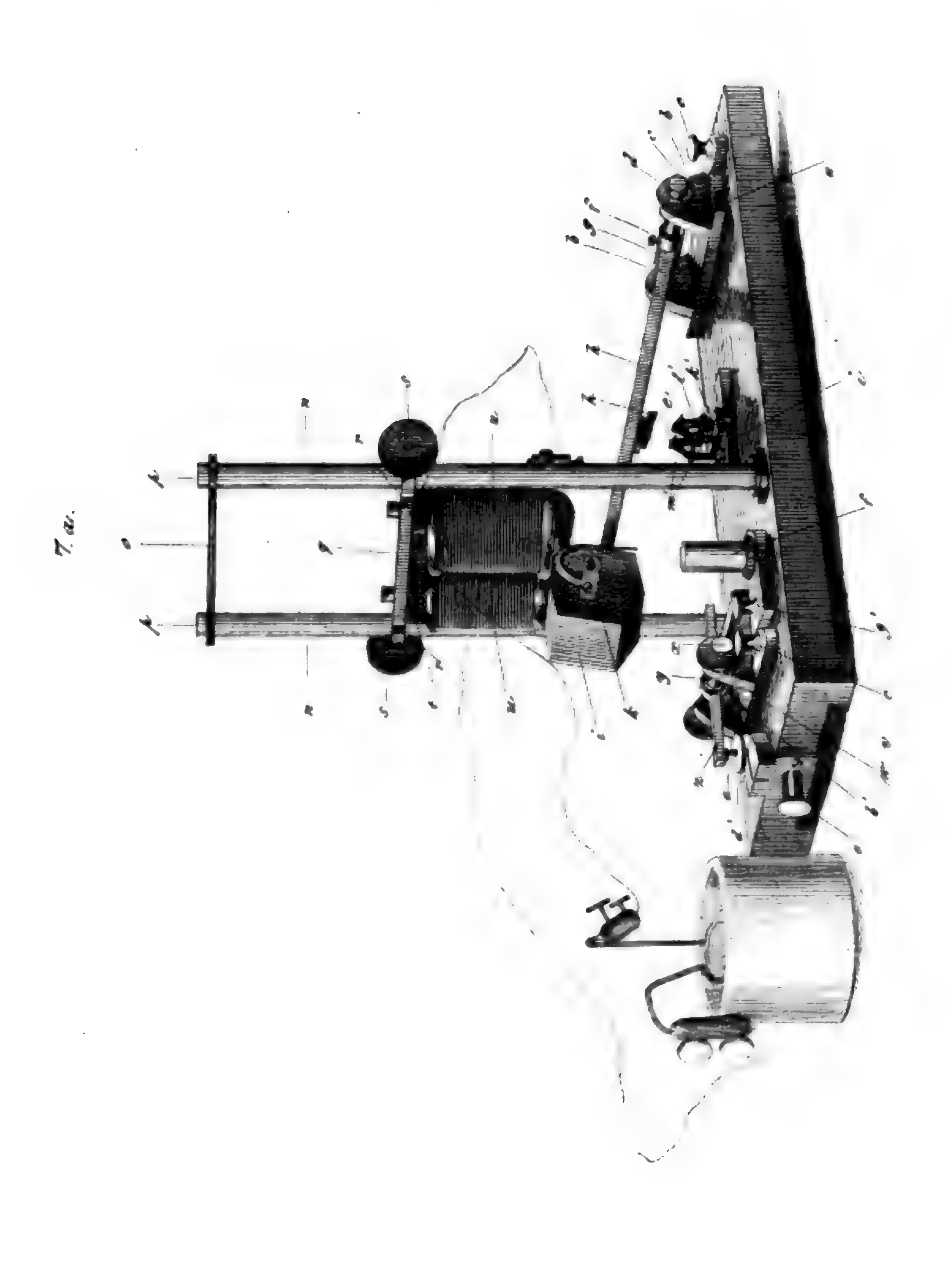
Digitized by

Taf. I.

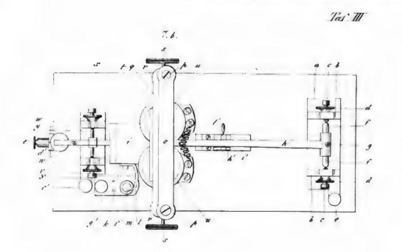


Digitized by Google

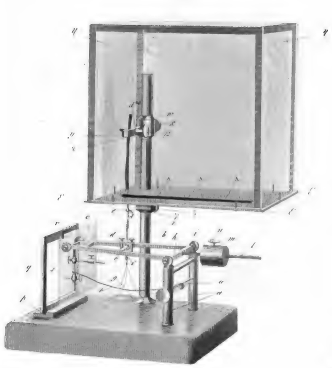
Taf. II.



7. b.



6.



gez. v. C. Haas

Digitized by Google

Digitized

Taf. IV.

8.

9.

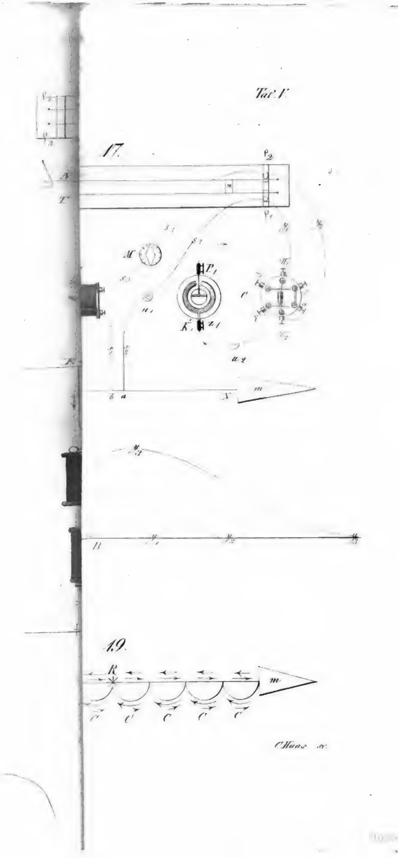
10.

11.

12.

16.

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google